

# СВОЙСТВА КАПЛИ ВОДОУГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ОСНОВЕ ПЕЧНОГО ТОПЛИВА И МАЗУТА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СРЕДЕ

Мусалам Алаа (Палестина)

Аспирант.

Р. А. Кучмамбетов

Аспирант.

Кафедра аэрокосмической теплотехники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина, 61070.  
Контактный тел.: +38(057)707-44-78  
e-mail: alaa\_musalam@yahoo.com

*Проведено большое количество экспериментов с использованием современных технических устройств и методов, определяющих поведение суспензионного топлива в высокотемпературной среде. В результате экспериментов и опытов выявлены физические и химические свойства капли водоугольной суспензии на основе печного топлива и мазута. На основании экспериментальных данных доказано использование воды, мочевины и извести как активаторов процесса горения.*

## 1. Введение

Ранее были изучены свойства КСГ в предпламенных процессах. Предлагались технологии сжигания суспензий без использования веществ активаторов. Отмечено, что данное топливо по сравнению с угольной пылью позволяет упростить систему топливоподготовки, улучшить экологические характеристики и решить проблему сточных вод. Рассматривались вопросы применения и особенности использования водо-мазутных эмульсий для отопления мартеновских печей.

Разработана и изготовлена усовершенствованная модификация экспериментальной термогравиметрической установки для определения свойств суспензионных топлив в предпламенных процессах с элементами автоматизации проведения эксперимента. В качестве активаторов процесса горения предложены мочевины, повышающая температуру процесса горения, вода, для уменьшения вязкости топлива и повышения температуры горения, известь для понижения содержания серы в продуктах сгорания, экспериментально и теоретически показаны целесообразность их применения, причем показана действенность активации процесса на стадии подготовки топлива. Предложена физическая и математическая модели поведения капли суспензионного горючего в окислительной среде, температура которой выше температуры кипения жидкой основы, учитывающая влияние активаторов, содержащейся в композитном топливе, на протекание процесса. Разработана методика расчета предпламенного процесса и реализующая ее программа, с помощью которой проведены численные эксперименты, давшие удовлетворительное согласие с лабораторными исследованиями. Создана термогравиметрическая установка для исследования свойств и особенностей поведения суспензионных топлив малого объема в процессах горения.

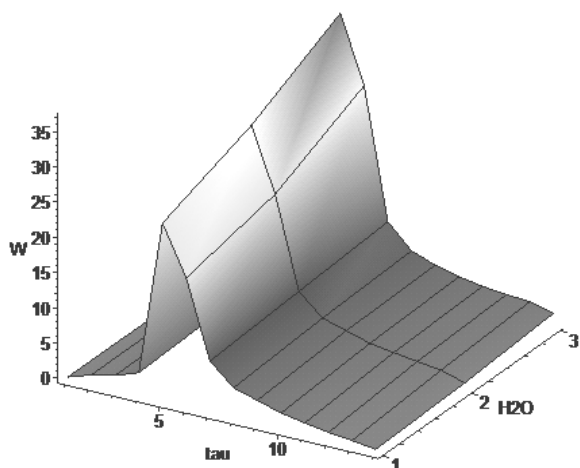
## 2. Результаты исследований предпламенных процессов

Представлены результаты экспериментов с использованием современных технических устройств и методов, определяющих поведение суспензионного топлива в высокотемпературной среде. Непосредственно для понимания процессов, происходящих вблизи капли распыленного суспензионного горючего в камере сгорания, проведенные предварительные эксперименты. В результате экспериментов и опытов выявлены физические и химические свойства суспензий с добавками воды.

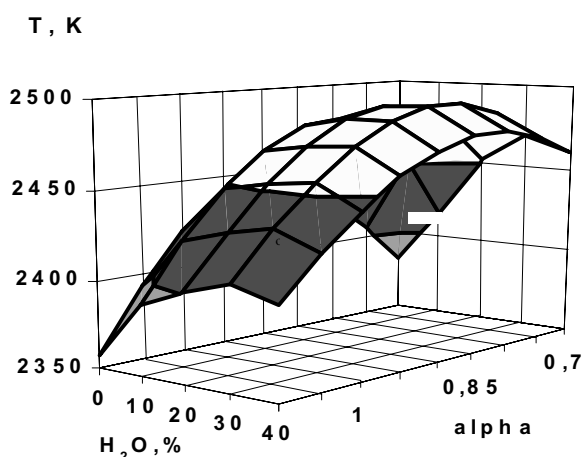
В работе рассмотрены суспензии на основе сертифицированного печного топлива (ПТ) ( $C_{0,946}H_{1,161}O_{0,002}$ ,  $A^d \approx 0,02\%$  [зольность],  $V^{daf} \approx 98\%$  [выход летучих веществ]; 50% керосина – 50% мазута) и мазута ( $C_{0,875}H_{0,125}O_{0,005}$ ,  $A^d \approx 0,14\%$ ,  $V^{daf} \approx 98\%$ ) с добавлением мелкодисперсной угольной пыли ( $C_{0,838}H_{0,056}N_{0,015}O_{0,077}S_{0,014}$ ,  $A^d \approx 19\%$ ,  $V^{daf} \approx 42\%$ ), воды, мочевины ( $NH_4CO$ ) и извести ( $CaCO_3$ ) рассматриваемых в качестве добавок-активаторов.

Таким образом, было установлено, что возможно использование КСГ на основе ПТ, 60% воды с 340 мг. СН, 40% воды с 340 мг. СН, 20% воды с 250 мг. СН и 10% воды с 125 мг. СН. С данным процентным составом КСГ термогравиметрическим методом проведены эксперименты с целью моделирования основного предпламенного процесса – диспергирования капли. Измерялось изменение массы суспензии в воздухе по времени при различной температуре.

Эксперименты с КСГ на основе мазута показали, что смешивание его с чистой водой возможно до определенных пропорций. Опытным путем определено, что до 40% воды смешивается с мазутом без добавления связующего вещества СН. Термогравиметрическим методом проводились опыты с пылеугольно-мазутной суспензией (ПУМС) при 10% содержания угольной пыли с добавкой воды до 40%. Добавление в суспензию угля осуществляется за счет



**Рисунок 1.** Скорость изменения массы капли ПУМС  $W$  [ $\text{мг}/\text{с}$ ] по времени при различном содержании воды



**Рисунок 2.** Зависимость температуры продуктов сгорания от содержания воды.

уменьшения содержания мазута.

На рис. 1 представлен график скорости изменения массы капли ПУМС по времени при различном содержании воды в 10 %, 20 %, 30 %.

Из рис.1 видно, что добавление 30% воды в ПУМС максимально ускоряет процесс реакции.

Также, в качестве активаторов процесса горения предложены: мочевина, известь. Экспериментально и теоретически показаны целесообразность их применения, причем показана действенность активации процесса на стадии подготовки топлива.

Были проведены расчеты равновесного процесса сгорания суспензионных топлив с использованием выбранных активаторов при помощи SOFT ASTRA-4M и полученные результаты представлены графически на рис. 2, 3 и 4.

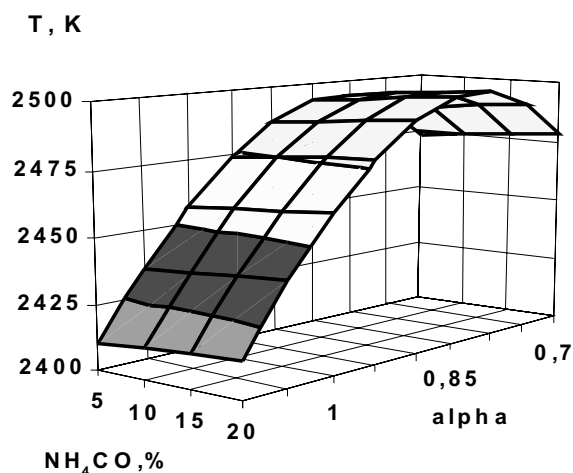
### 3. Результаты исследований процессов горения

Представлены результаты исследования процесса горения композитных суспензионных горючих. Экспери-

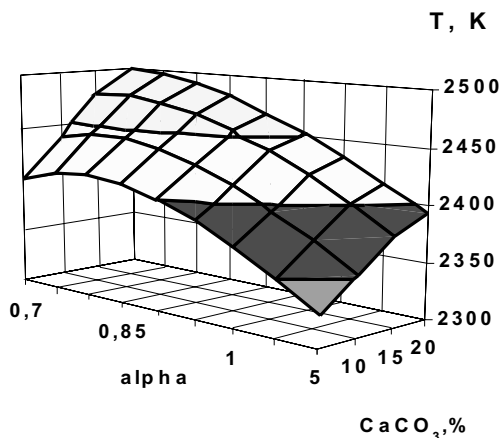
мент проводился в два этапа.

В ходе первого этапа проводились исследования по определению температуры процесса горения КСГ массой 125 мг. Образцы взвешивались до начала эксперимента и после для определения сухого остатка (зола). После взвешивания боксу с образцом КСГ помещали над источником огня. Характерное значение времени  $\tau = 20\text{с}$ .

Эксперименты проводились над образцами пылеугольно-мазутной суспензией (ПУМС) с содержанием 10 % “угольной пыли” и различным содержанием воды. Уста-



**Рисунок 3.** Зависимость температуры продуктов сгорания от содержания мочевины.



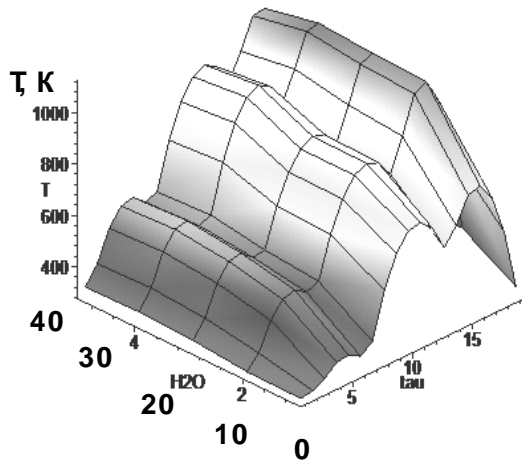
**Рисунок 4.** Зависимость температуры продуктов сгорания от содержания извести.

овнено, что процесс протекает в три стадии (рис. 5):

1. Горение легких углеводородов, содержащихся в мазуте.
2. Горение тяжелых углеводородов, содержащихся в мазуте.
3. Горение образующегося конгломерата.

Результаты экспериментов показали, что увеличение содержания воды в ПУМС до 30% увеличивает температуру горения.

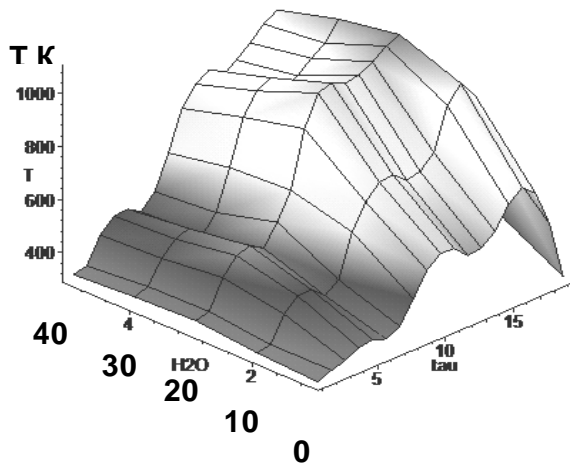
Эксперименты над КСГ на основе печного топлива (ПТ) с содержанием 10 % “угольной пыли” и различным



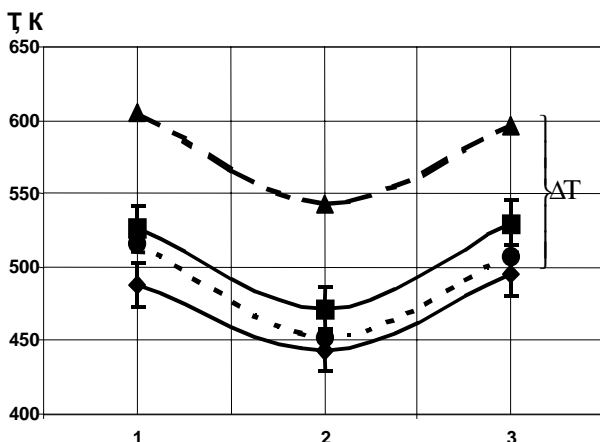
**Рисунок 5.** Три стадии процесса горения ПУМС.

содержанием воды, показали, что процесс также протекает в три стадии (рис. 6):

1. Горение легких углеводородов, содержащихся в ПТ.
2. Горение тяжелых углеводородов, содержащихся в ПТ.
3. Горение образующегося конгломерата.



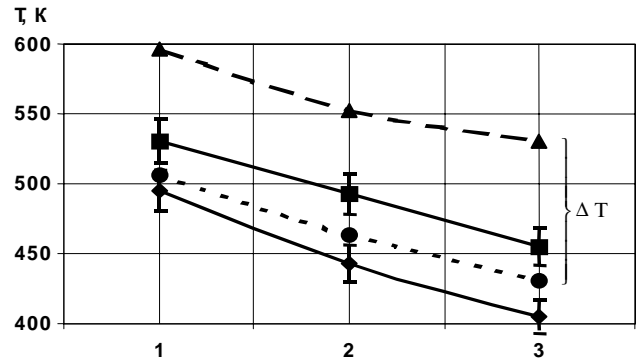
**Рисунок 6.** Три стадии процесса горения КСГ на основе ПТ.



**Рисунок 7.** Влияние добавок воды и «угольной пыли» на температуру горения.  
1-100%ПТ, 2-80%ПТ+20%Н<sub>2</sub>О,  
3-70%ПТ+10%Угля+20%Н<sub>2</sub>О

Результаты показали, что увеличение содержания воды до 20 % увеличивает температуру процесса горения.

Во втором этапе исследований определены температуры процесса горения КСГ в камере сгорания с расходом



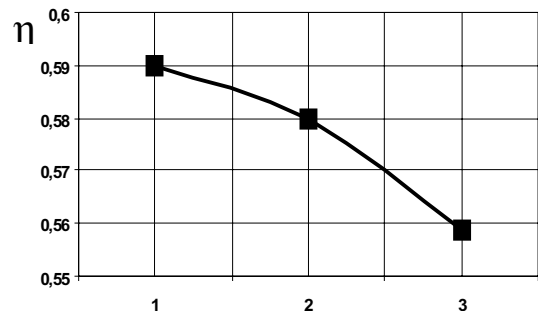
**Рисунок 8.** Влияние состава основного жидкого топлива на температуру горения  
1-60%ПТ+10%Угля+30%Н<sub>2</sub>О,  
2-30%ПТ+30%Мазута+10%Угля+30%Н<sub>2</sub>О,  
3-60%Мазута+10%Угля+30%Н<sub>2</sub>О

топлива до 0,002 кг/с.

Получена зависимость температуры горения КСГ на основе ПТ от добавок воды и «угольной пыли». Результаты представлены на рис. 7.

Также получена зависимость температуры горения КСГ с различным содержанием ПТ и мазута от добавок воды и «угольной пыли». Результаты представлены на рис. 8.

С использованием SOFT ASTRA-4М проведен расчет равновесного состава продуктов сгорания всех экспериментальных составов КСГ в адиабатных условиях. Сде-



**Рисунок 9.** Коэффициент полноты сгорания.  
1-100%ПТ, 2-70%ПТ+10%Угля+20%Н<sub>2</sub>О,  
3-60%Мазута+10%Угля+30%Н<sub>2</sub>О

лано сравнение результатов расчета и экспериментальных данных. Совпадение результатов с точностью  $\Delta T = 90 - 100$  К. Результаты представлены на рис. 7 и 8.

По известной методике проводился расчет коэффициента полноты сгорания. Результаты представлены на рис.9.

Из графика видно что использование композитных суспензионных горючих в качестве топлива для энергетических установок не приводит к существенному снижению

полноты сгорания.

---

### Выводы

---

Показано, что использование в качестве активатора процесса горения воды, уменьшает вязкости топлива и повышает температуру горения; мочевины, повышает температуру процесса горения; извести, понижает содержания серы в продуктах сгорания, экспериментально и теоретически показаны целесообразность их применения, причем показана действенность активации процесса на стадии подготовки топлива. Использование активаторов увеличивает полноту сгорания и снижает эмиссию сажи. Последнее обстоятельство чрезвычайно важно с точки зрения повышения экологичности теплогенерирующих установок.

Экспериментальным и расчетным путем показано, что использование печного топлива целесообразно при добавках 20% воды с добавкой 250 мг. СН. ПУМС целесообразно использовать с 10% порошкообразного угля и 30% воды. При найденных рациональных значениях процентного состава КСГ достигается максимальная эффективность процесса горения.

Экспериментально установлено для КСГ, что наблюдается трехстадийность процесса горения. Это обусловлено тем, что различна температура воспламенения содержащихся в КСГ веществ. Добавка воды значительно увеличивает скорость реакции до определенного процентно-

го содержания, для КСГ на основе ПТ – 20 % воды и на основе мазута – 30 % воды. После проведения экспериментов взвешивался остаток КСГ. Определено, что масса золы составляет 1 – 2 %. Это говорит о почти полном сгорании содержащегося образца КСГ с использованием активатора.

Из результатов проведенных экспериментов по горению КСГ на модельной камере сгорания видно, что имеет место качественное совпадение результатов экспериментов и расчетов. Разница объясняется не адиабатичностью процесса подвода тепла. Учет величины потерь приводит к количественному совпадению результатов с точностью  $\Delta T = 90 - 100 \text{ K}$ .

Таким образом, исходя из результатов проделанной работы, можно сказать, что использование КСГ в качестве топлива для теплогенерирующих установок экономически и экологически целесообразно и выгодно.

---

### Литература

1. *Бастеев А.В.* Принцип активации и его применение в процессах энергопреобразования // Проблемы. Машиностроения. - 1993.-Вып.39.- С.81-87.
2. *Нестеренко Л.Л., Бирюков Ю.В.* Основы химии и физики горючих ископаемых // К: 1987.- С.19-23.
3. *Померанцев В.В.* Основы практической теории горения // Л: Энергоатомиздат, 1986.- С.161-211.