

ISSN 1727-0219

В П С Н И К

ДВИГУНОБУДУВАННЯ

ВЕСТНИК  
ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ  
JOURNAL OF  
aeroenginebuilding



№ 1/2003

# СВОЙСТВА СУСПЕНЗИОННЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЕЧНОГО ТОПЛИВА И МАЗУТА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СРЕДЕ

Бастеев А.В., Мусалам Алаа, Форфутдинов В.В.,  
Карножицкий П.В., Кучмамбетов Р.А.

*Аннотация: Проведено большое количество экспериментов с использованием современных технических устройств и метода термогравиметрии, определяющего поведение суспензионного топлива в высокотемпературной среде. В результате экспериментов и опытов выявлены физические и химические свойства пыле-угольно-мазутных суспензий с добавками воды. На основании экспериментальных данных доказано использование воды как активатора процесса горения. Полученное суспензионное топливо возможно использовать как топливо энергетических установок. Проведены расчеты процесса горения на современном компьютерном оборудовании при помощи SOFT ASTRA-4M, подтверждающие своими результатами опытные данные.*

*Анотація: Проведена велика кількість експериментів з використанням сучасних технічних пристроїв і методу термогравиметрії, який визначає поведінку суспензійного палива у високотемпературному середовищі. У результаті експериментів і досвідів виявлені фізичні і хімічні властивості пиле-вугільно-мазутних суспензій з добавками води. На підставі експериментальних даних доведено використання води як активатора процесу горіння. Отримано суспензійне паливо, яке можливо використовувати як паливо енергетичних установок. Зроблено розрахунки процесу горіння на сучасному комп'ютерному устаткуванні за допомогою SOFT ASTRA-4M, що підтверджують своїми результатами отримані дані.*

*Abstract: The plenty of experiments with use of the modern engineering devices and a method of a thermogravimetric of suspension fuel deterring behaviour in hightemperature medium is conducted. As a result of experiments and experience are reveled physical and chemical properties coal-black oil suspensions with water additions. On the basis of experimental data using of water as activator of process of combustion is proved. Obtained suspension fuel is possible for using in power plants. Calculations of process of combustion on the modern computer equipment are made with help of SOPFT ASTRA-4M, test data verifying the results of experimernt.*

## Введение

Идея сжигания пылеугольно-мазутных суспензий (ПУМС) впервые появилась еще в 1879 г., их применением в топках современных энергетических и промышленных установок и в доменных печах начали серьезно заниматься лишь на протяжении нескольких десятилетий. Побудительным мотивом к применению ПУМС являются экономические выгоды, получаемые от перевода современных парогенераторов, работающих на мазуте и газе, на сжигание ПУМС. Их использование мотивируется тем, что по приготовлению, хранению и сжиганию они аналогичны мазутному топливу.

В данной работе рассматривается возможность использования суспензий на основе печного топлива (ПТ) и мазута с добавлением мелкодисперсной угольной пыли и воды в качестве альтернативного топлива для теплогенерирующих установок.

## Методика исследований

Образцы КСГ приготавливались в стеклянных сосудах объемом в 50 гр. К основному топливу в соответствующих процентных пропорциях подмешивались мелкодисперсный угольный порошок и вода. Для смешивания использовался миксер с оборотами 8000 об/мин. После смешивания образец КСГ помещался в кварцевую бюксу, подвешенную на торсионных весах, и опускался в керамическую печь. Температура в камере поддерживалась в диапазоне  $280 \leq T \leq 300$  °С. Эксперимент проводился в течение  $\tau^* = 16$  мин.

Анализ элементарных предпламенных стадий сжигания топлива проведен термогравиметрическим методом [2]. Основные элементы экспериментальной установки: торсионные весы типа ЭМИБ с ценой деления  $10^{-6}$ ; термомпара типа ХК; электронный автоматический вольтметр В7-28; вертикальный керамическая

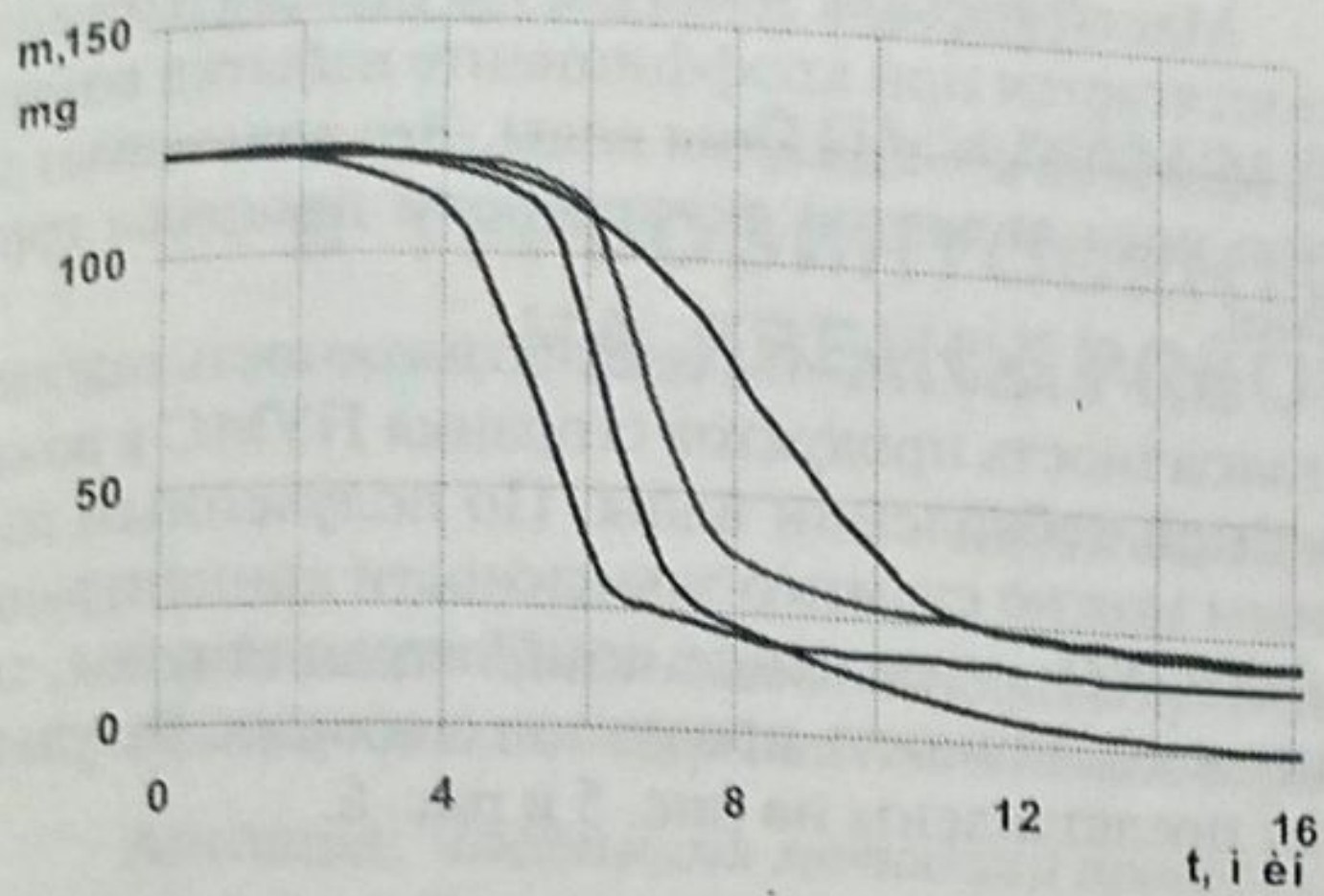


Рис. 1. Изменение массы суспензии ПТ по времени  
 1 – 90% ПТ и 10% воды; 2 – 80% ПТ и 20% воды;  
 3 – 60% ПТ и 40% воды; 4 – 40% ПТ и 60% воды.

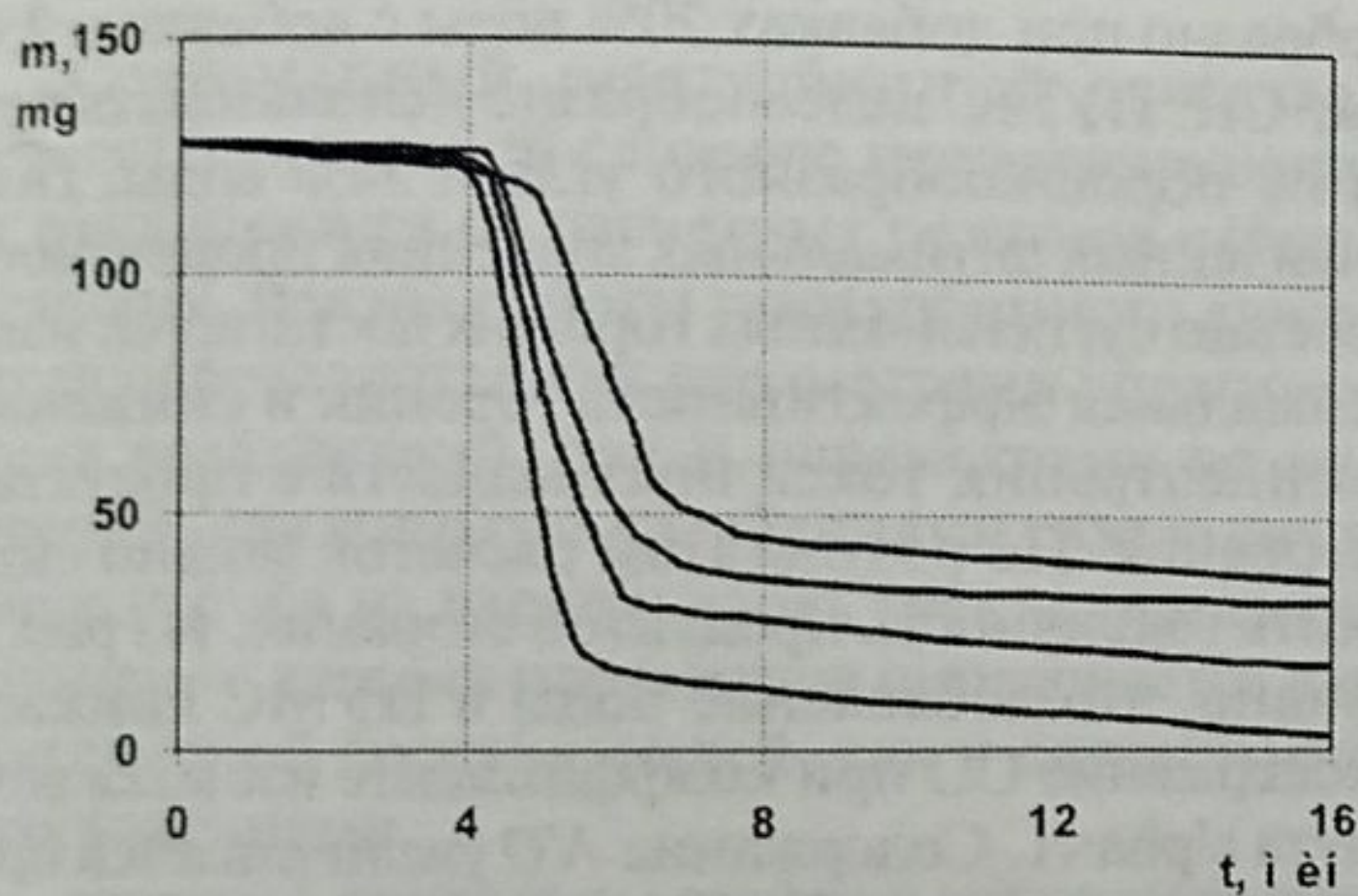


Рис. 2. Изменение массы суспензии мазута по времени  
 1 – 90% мазута и 10% воды;  
 2 – 80% мазута и 20% воды;  
 3 – 70% мазута и 30% воды;  
 4 – 60% мазута и 40% воды

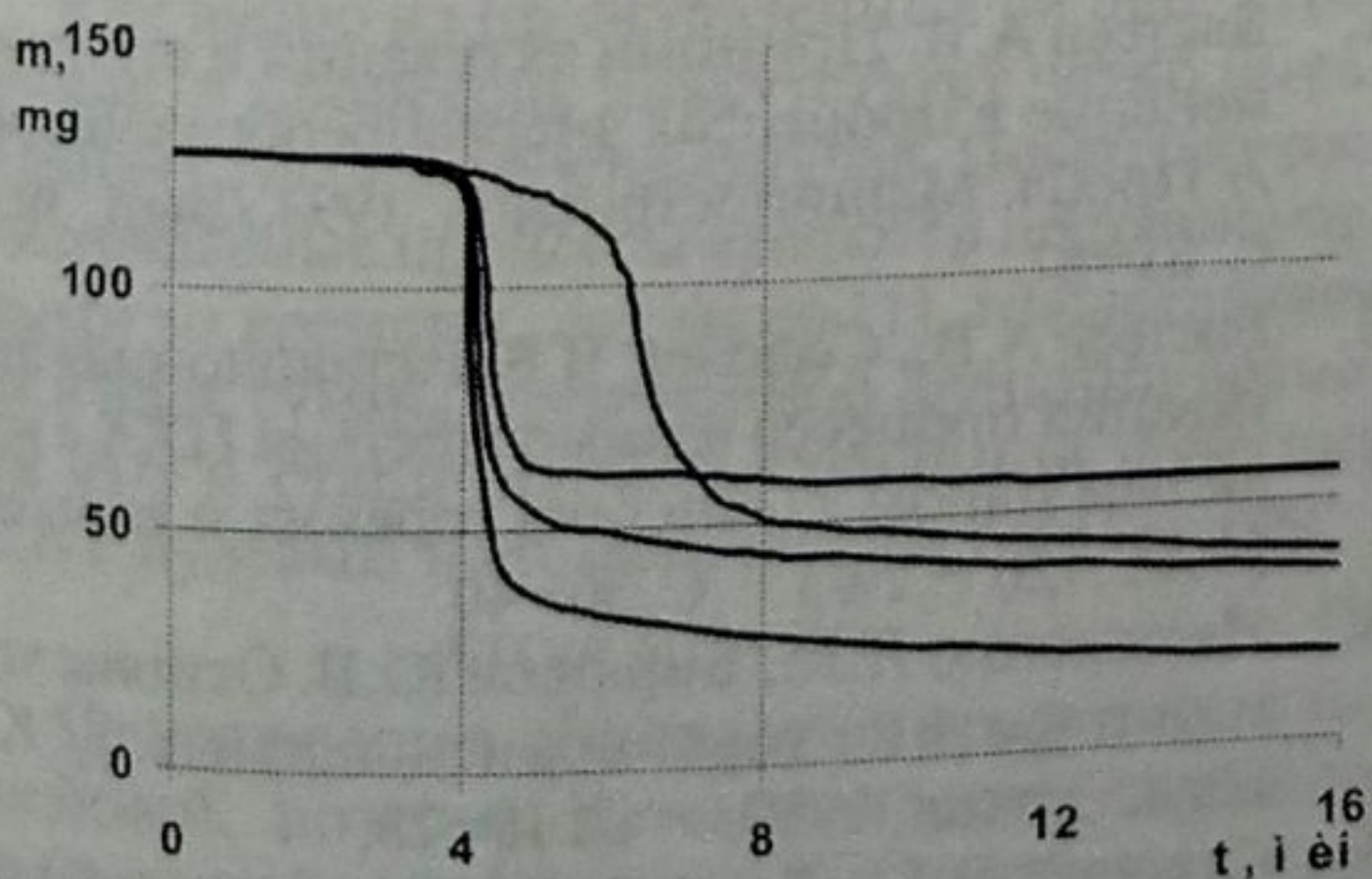


Рис. 3. Изменение массы суспензии мазута по времени  
 1 – 80% мазута, 10% угля и 10% воды;  
 2 – 70% мазута, 10% угля и 20% воды;  
 3 – 60% мазута, 10% угля и 30% воды;  
 4 – 50% мазута, 10% угля и 40% воды

печь с электроподогревом, внутренним диаметром 20 мм; кварцевая бюкса с образцом КСГ.

### Экспериментальные данные

Эксперименты над ПТ показали, что смешивание его с чистой водой невозможно. В качестве связующего вещества был использован стеарат натрия (СН). В смесь топлива с водой добавлялось связующее в виде порошка в количестве до 0,5% в зависимости от процентного содержания ПТ. Тщательным перемешиванием на миксере суспензия доводилась до состояния однородной массы, производился замер времени от начала расслоения смеси до ее полного расслоения. Результаты экспериментов показали, что добавление СН на некоторое время создает однородную смесь пригодную для проведения эксперимента.

Из опытов видно, что возможно использование суспензий 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 содержанием суспензии проведены эксперименты термогравиметрическим способом. Определено изменение массы суспензии по времени и при различной температуре. График зависимостей представлен на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что добавление 40% воды в ПТ максимально ускоряет процесс реакции, но не способствует полному протеканию процесса, а 20% воды не только ускоряет процесс реакции, но и способствует полному протеканию процесса.

Эксперименты над мазутом 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. Определено термогравиметрическим способом изменение массы суспензии по времени и температуре и результаты представлены на рис. 2

На рис. 2 наглядно видно, что добавление 30% воды в мазут максимально ускоряет процесс реакции и способствует полному выпариванию суспензии.

При дальнейших исследованиях проводились опыты с ПУМС с 10% содержанием угольной пыли и с добавкой воды до 40%. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

Добавление угля осуществляется за счет уменьшения содержания мазута.

Выбор 10% угля в ПМУС не случаен, он обосновывается расчетами с помощью ASTRA-4М, где рассчитывался процесс горения ПУМС с добавлением воды. Результаты расчетов и выводы приведены далее.

На рис. 3 наглядно видно, что добавление 30% воды в ПУМС так же влияет на процесс реакции, как и при добавках в водно-мазутной суспензии.

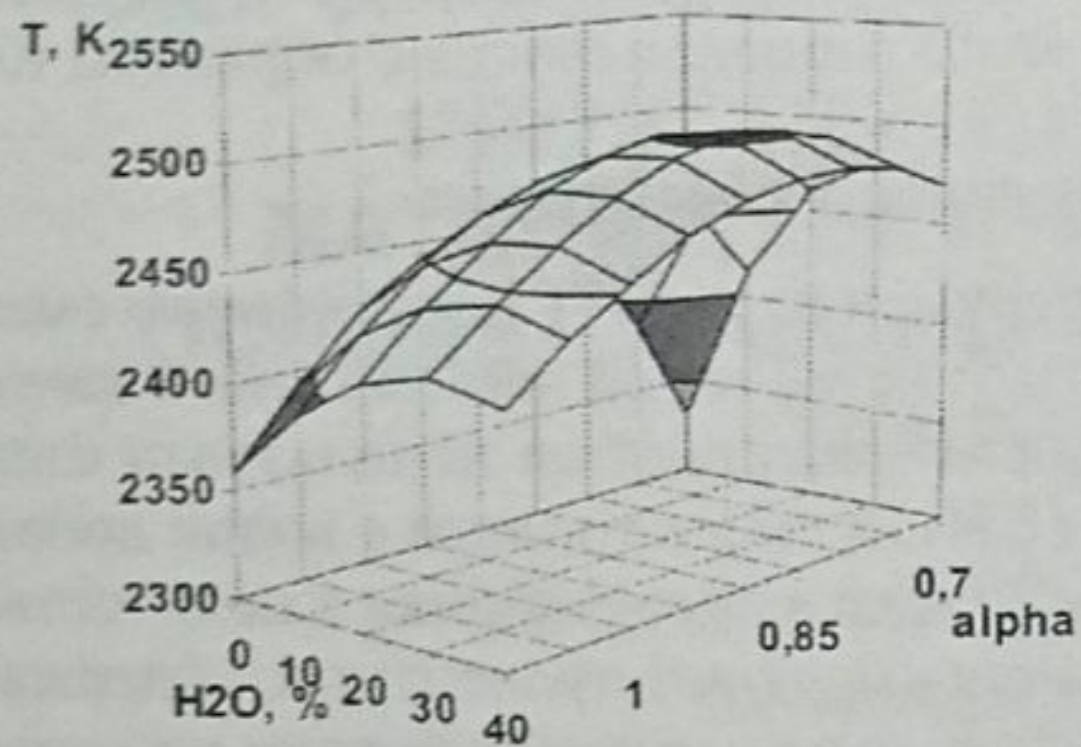


Рис. 4. Зависимость температуры процесса горения ПУМС при содержании в ней 10% угля по коэффициенту избытка воздуха и проценту содержания воды

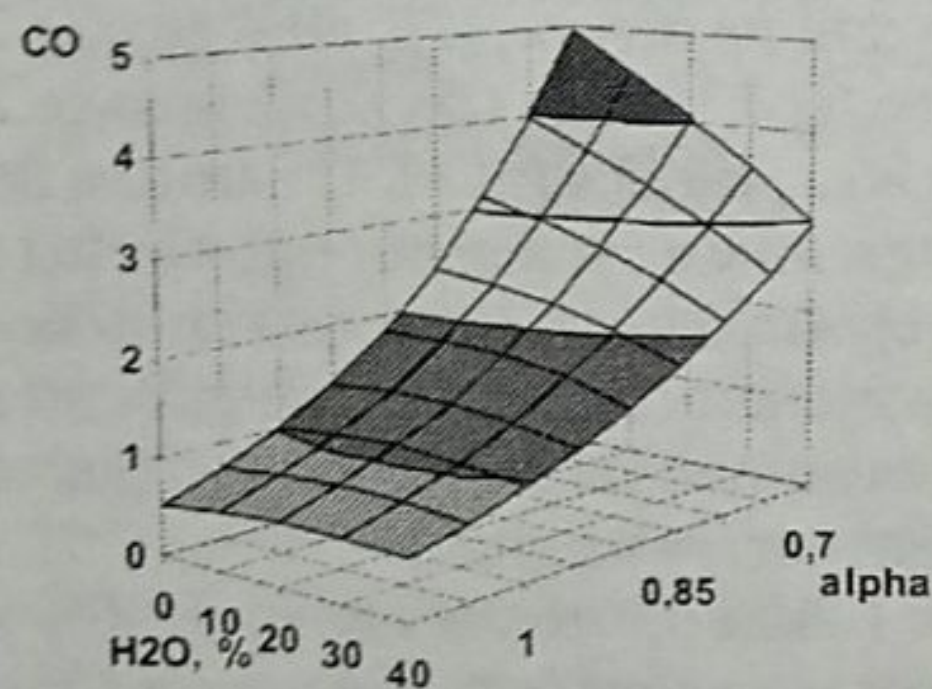


Рис. 5. Зависимость концентрации токсичных веществ продуктов сгорания ПУМС,  $CO = [моль/кг]$

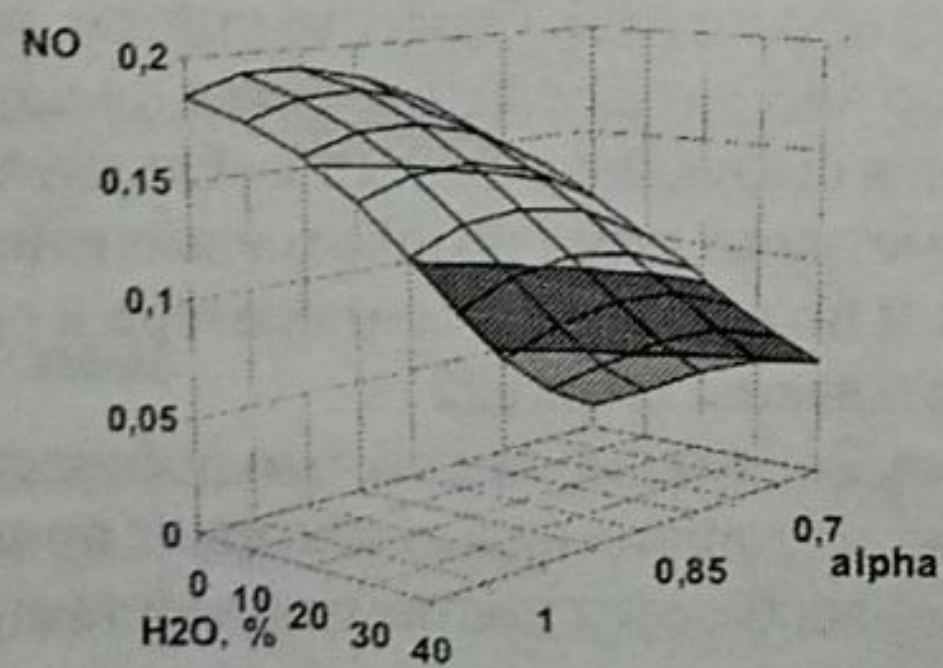


Рис. 6. Зависимость концентрации  $NO$  в продуктах сгорания ПУМС,  $NO = [моль/кг]$

#### Расчетные данные

Исходя из рекомендаций по составу, полученного из экспериментальных данных, посредством SOFT ASTRA-4M были проведены расчеты равновесного состава продуктов сгорания.

На рис. 4 приведены результаты расчетов температуры процесса горения ПУМС с 10% угольного порошка при добавлении воды, для различных значений коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ .

Максимальная температура процесса горения достигается при коэффициенте избытка воздуха 0,85 и 30% содержания воды. Это доказывает то, что вода является активатором процесса горения.

SOFT ASTRA-4M дает возможность оценить токсичность продуктов сгорания ПУМС в воздухе при добавлении воды. По полученным данным можно судить о зависимости концентрации  $CO$  и  $NO$  — чем выше концентрация воды, тем ниже токсичность продуктов сгорания. Результаты представлены на рис. 5 и рис. 6.

#### Выводы

Полученные в ходе экспериментов сведения об изменении массы капли суспензионного горючего в высокотемпературной среде, подтверждаются проделанными расчетами с помощью ASTRA-4M. Использование ПТ с водой целесообразно при добавках 20% воды с добавкой 250 мг СН. ПУМС целесообразно использовать при 10% порошкообразного угля и 30% воды. При найденных оптимальных значениях процентного состава суспензионных горючих достигается максимальная эффективность горения и снижение концентрации токсичных веществ в продуктах сгорания. По результатам расчетов можно оценить токсичность продуктов сгорания. Из рис. 5 видно, что добавление воды в ПУМС снижает содержание  $CO$  при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha < 1$ . Содержание  $NO$  увеличивается при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha > 0,7$ , но снижается при добавлении воды больше 30%, что видно по графику на рис. 6.

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

#### Литература

1. Бастеев А.В. Принцип активации и его применение в процессах энергопреобразования // Пробл. Машиностроения. 1993./Вып. 39.— С. 81–87.
2. Бастеев А.В., Соловей В.В. Радиационная активация процесса взаимодействия ПХА с водяным паром // Физика горения и взрыва. 1990. — 26 — №3 — С.36–40.
3. Нестеренко Л.Л., Бирюков Ю.В. Основы химии и физики горючих ископаемых. // К.: Наук. думка, 1987. — С. 19–23.
4. Стогней В.Г., Крук А.Т. Экономия теплоэнергетических ресурсов на промышленных предприятиях. // М: Энергоатомиздат, 1991.— С. 5–11.
5. Померанцева В.В. Основы практической теории горения. // Л: Энергоатомиздат, 1986.— С. 161–211.