

УДК 536.46

ФАКЕЛЬНОЕ ГОРЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИСПАРЕННОЙ ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ**В. В. Опятюк**

Институт горения и нетрадиционных технологий
Одесского Национального Университета им. И.И. Мечникова
65026, Одесса, Украина, ул. Дворянская, 2

Аннотация

В статье обсуждается вопрос о существовании области устойчивого факельного горения предварительно выпаренных в термохимическом реакторе водо-топливных эмульсий (ВТЭ) обратного типа, созданных на основе отработанных машинно-моторных масел. Представлено детальное описание экспериментального реактора термохимической подготовки топливной смеси. Описана методика получения и обработки экспериментальных данных. Приведены экспериментальные данные по определению размеров факелов в зависимости от температуры реактора и процентного содержания воды в водо-топливной эмульсии. Также представлены экспериментальные данные о влиянии на высоту факела дополнительного подвода воздуха в термохимический реактор предварительной подготовки топливной смеси. На основании данной информации рассмотрен вопрос о конкуренции кинетических и гидродинамических факторов, влияющих на размер таких факелов. Проведен сравнительный анализ высот факелов, получаемых при сжигании эмульсий обратного типа, созданных на основе тяжелых углеводородных топлив. Высказано предположение о возможном каталитическом воздействии паров воды на пары топлива в реакторе подготовки. Данное воздействие проявляется в том, что минимальная температура в термохимическом реакторе, при котором возможно существование факельного горения водо-топливных эмульсий значительно ниже, чем тот же показатель для чистого тяжелого углеводородного топлива техногенного или природного происхождения (отработанного масла).

Ключевые слова: горение, факел, эмульсия, топливо, температура, реактор

Введение

В последнее время вопрос утилизации таких отходов горюче-смазочных материалов (ГСМ), как отработанные машинно-моторные масла, становится все более актуальным.

Эти материалы обладают высокой калорийностью и могут являться одним из видов возобновляемых альтернативных топлив, что обуславливает экономическую целесообразность такого их использования [1]. Экологическая целесообразность данного подхода очевидна.

Надо отметить, что различные способы хранения и перевалки ГСМ приводят к их неизбежному обводнению. Таким образом, на производстве надо решать проблему обезвоживания ГСМ, либо иметь технологии по использованию обводненных ГСМ [2].

Среди научных задач, возникающих в связи с этими проблемами, одной из важнейших является организация процесса сжигания обводненных ГСМ и их отходов с целью полу-

чения максимального теплового эффекта при высокой полноте сгорания.

Существует несколько методов преобразования топлив в горючие смеси : [3].

- распыление форсунками;
- сжигание топлив вместе с предварительно полученным водяным паром и пр.

Целью работы является выявление зависимости длины факела водотопливной эмульсии от содержания воды и температуры реактора подготовки топлива.

Очевидно, что с увеличением температуры в реакторе, должна расти температура выходного потока. Скорость реагирования смеси растет и, как следствие, высота факела должна сокращаться.

С другой стороны, вместе с увеличением температуры в реакторе, неизбежно растет и скорость выходного потока, что приводит к увеличению высоты факела. Подобной конкуренции кинетических и гидродинамических факторов в газовых факелах не существует.

В работе изучаются закономерности горения спутного ламинарного диффузионного факела предварительно испаренной водотопливной эмульсии.

Эти закономерности необходимы для оценки теплонапряженности факела, выявления диапазонов регулировки содержания воды в ВТЭ при факельном горении.

Описание экспериментальной установки

Одним из методов, обеспечивающих высокую стабильность сжигания водотопливных эмульсий, является их предварительное испарение. Однако множественные пульсации, возникающие на этой стадии, препятствуют организации стабильного факела [4]. С целью подавления этих пульсаций в схему горелки был введен реактор предварительной подготовки топлива, который кроме основной функции - испарения воды и пиролиза горючего компонента, выполнял еще и роль демпфера. Рассмотрим детально установку, изображенную на рис. 1.

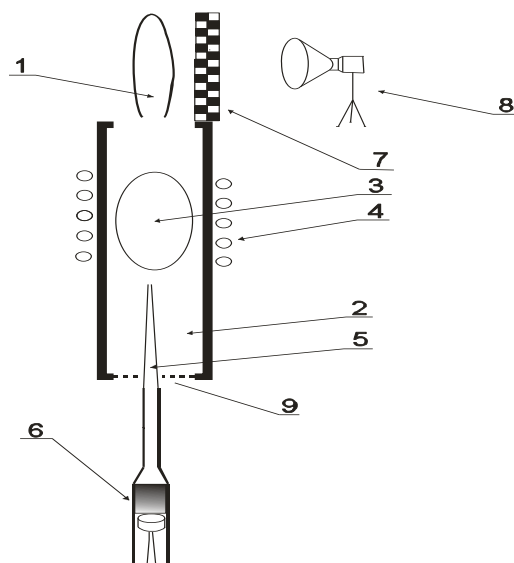
В экспериментах использовалась поршневая подача ВТЭ (6) в реактор предварительной подготовки топлива (2). Эмульсия проходила по полой игле (5) внутрь реактора, нагревающегося нихромовой спиралью (4) до необходимых температур, при которых происходит пиролиз смеси.

Скорость подачи подбиралась так, что избытка ВТЭ не было, и она полностью испарялась. Образовавшаяся внутри реактора смесь горючих газов (3) и водяного пара, возникших в результате испарения компонент ВТЭ, в дальнейшем также подогревается, и выходит через верхнее сопло реактора. Эта смесь поджигалась, и появившийся факел (1) фотофиксировался на фоне масштабной линейки (7) видеокамерой (8). Заметим, что в экспериментальной установке, был предусмотрен дополнительный канал подачи воздуха в реактор (9), для организации подсоса воздуха. В установку он был введен для того чтобы имела возможность изучать влияние кинетических и гидродинамических факторов в экспериментах.

Методика получения и обработки экспериментальных данных

В процессе проведения экспериментов проводилась видеосъемка цифровым фотоаппаратом CANON. В дальнейшем видеоматериалы обрабатывались на компьютере с целью получения последовательностей отдельных кадров, визуализирующих высоты факелов. По данным, полученным в результате обработки видеоматериалов, были определены усреднен-

ные высоты факелов для каждого из исследуемых составов.



1 – факел ВТЭ; 2 – реактор термохимической подготовки; 3 – смесь паров воды и испаренного топлива; 4 – нагревательный элемент; 5 – полая игла; 6 – поршневая подача ВТЭ; 7 – масштабная линейка; 8 – цифровой фотоаппарат; 9 – канал для подсоса воздуха

Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

В экспериментах использовалась ВТЭ с содержания воды 30%, 20%, 10% и чистое машинное масло без воды.

Для определения температуры использовалась хромель-алюмелевая термопара, которая помещалась внутрь реактора подготовки топлива вблизи иглы, из которой выходила эмульсия. Температура реактора подготовки варьировалась в диапазоне от 110 до 500 градусов Цельсия.

Данный диапазон выбирался из следующих соображений: начало диапазона соответствовало минимальной температуре, при которой организовывался устойчивый факел ВТЭ, конец диапазона соответствовал температуре, при которой организовывался процесс интенсивного сажеобразования.

Анализ экспериментальных данных

Зависимость длины факела от температуры реактора

Масло без воды. На основе экспериментов получены следующие значения температур и высот факелов, изображенных на рис. 2. Эта зависимость отражает плавное увеличение длины факела с увеличением температуры в реакторе подготовки топлива.

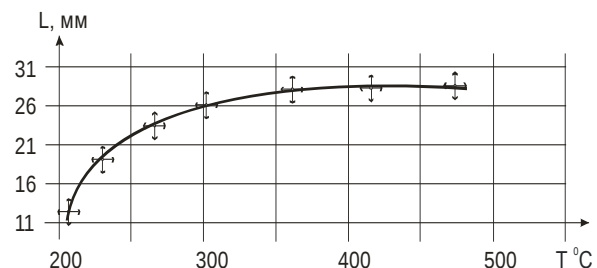


Рис. 2 – Зависимость длины факела горящего масла от температуры в реакторе

10%-ный раствор водотопливной эмульсии. На основе проведенных экспериментов получены следующие значения температур и высот факелов, изображенных на рис. 3.

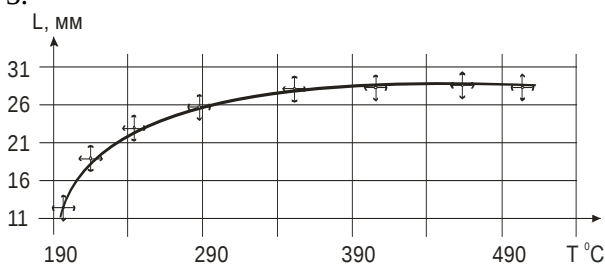


Рис. 3 – Зависимость длины факела горящей 10% ВТЭ от температуры в реакторе

Заметим, что данная зависимость не имеет резких перегибов. Также, при сравнении данных между зависимостями для чистого машинного масла и 10% ВТЭ можно заметить, что температура начала существования устойчивого факела ниже на 5-10 °С, чем тот же показатель для масла.

Температура, при которой наблюдается интенсивное сажеобразование для 10% ВТЭ оказывается выше, чем та же температура для масла. Из этого можно сделать вывод, что диапазон температур стабильного горения 10% ВТЭ больше, чем для чистого масла.

20%-ный раствор водотопливной эмульсии. Значения длин факелов от температур показаны на рис. 4.

Из графика видно, что зависимость высоты факела от температуры в реакторе имеет несколько перегибов. Минимальная температура в реакторе для 20 % ВТЭ, при котором возможно самоподдерживающееся горение (125 °С) значительно ниже, чем тот же показатель для чистого масла (215 °С), и 10% ВТЭ.

Для сравнения приведем экспериментальные зависимости высоты факела от температуры в реакторе, для этого же состава ВТЭ, но с организацией дополнительного подвода воздуха рис 5.

Из сравнительного анализа рис. 4 и рис. 5, можно увидеть, что подвод дополнительного воздуха несущественно влияет на размеры факела, и несколько изменяет вид зависимости длины факела от температуры.

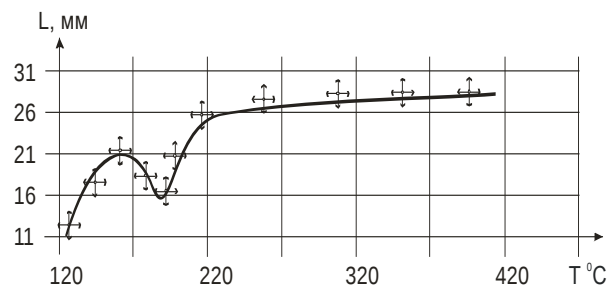


Рис. 4 – Зависимость длины факела горящей 20% ВТЭ от температуры в реакторе.

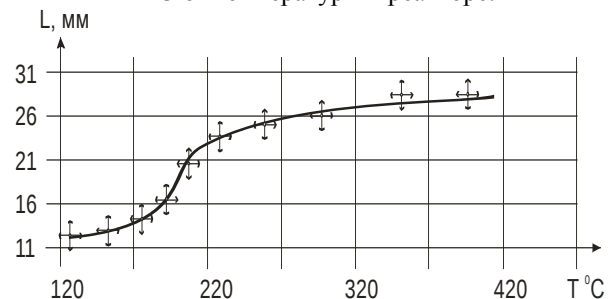


Рис. 5 – Зависимость длины факела горящей 20% ВТЭ от температуры в реакторе (с влиянием дополнительного подвода воздуха)

30%-ный раствор водотопливной эмульсии. По полученным экспериментальным данным была получена следующая зависимость значений длин факела от температуры, приведенная на рис. 6.

Данные зависимости показывают плавное изменение длины факела от температуры. Если рассматривать эти данные в сравнении с данными, полученными при сжигании 20% ВТЭ с подводом дополнительного воздуха и без него, то можно выявить меньшее число перегибов, наблюдаемых на зависимостях для состава с 30 % содержанием воды в ВТЭ, чем для 20% ВТЭ. Заметим, что независимо от влияния подвода воздуха в экспериментах, увеличение концентрации воды в водо-топливной эмульсии ведет к уменьшению температуры перехода в самоподдерживающийся режим горения, по сравнению с результатами для чистого масла (Рис. 7).

Сравнение экспериментальных данных и проведение теоретических оценок

Воспользуемся формулой для расчета факела в виде [5]:

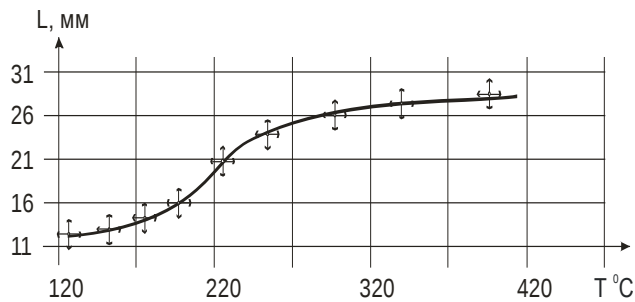


Рис. 6 – Зависимость длины факела горящей 30% ВТЭ от температуры в реакторе

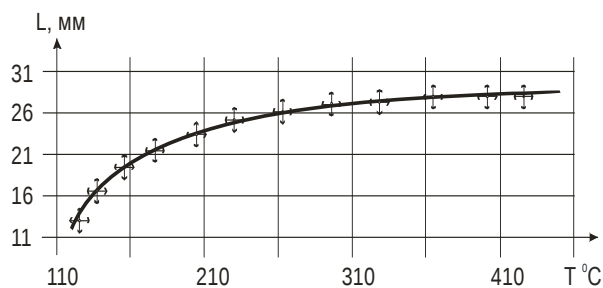


Рис. 7 – Зависимость длины факела горящей 30% ВТЭ от температуры в реакторе (с влиянием подвода дополнительного воздуха)

$$L = \frac{ud^2}{D} \text{const}, \quad (1)$$

где u – скорость выхода газа из сопла,

d – диаметр сопла,

D – коэффициент диффузии.

В данном законе неизвестным является скорость выхода газа из сопла – u . Зная, что $\frac{\partial d}{\partial t} = us$, и $w = \rho us$ – поток вещества.

Подставляя эти значения в (1) приходим к формуле

$$l = \frac{w}{T} \text{const} \quad (2)$$

Подставляя значения T в формулу, получим значения высоты факела $L \approx 16$ мм, что по порядку величин соответствует наблюдаемым в эксперименте значениям.

Выводы

Проведены экспериментальные исследования по изучению зависимостей длины факелов предварительно выпаренной водотопливной эмульсии на основе тяжелого углеводородного горючего – машинного масла от начальной концентрации воды и температуры

реактора подготовки топлива позволяют сделать следующие выводы:

1. Выявлено, что для разной концентрации воды в горючей смеси, режим самоподдерживающегося факела обеспечивался при следующих температурах в реакторе подготовки топлива:

а) при $C=0$ (масло), температуры $T=270-470$ °C

б) при $C=10\%$, температуры $T=205-500$ °C

в) при $C=20\%$, температуры $T=125-405$ °C (без дополнительной подачи воздуха), $T=130-400$ °C (с дополнительной подачей воздуха)

г) при $C=30\%$, температуры $T=120-405$ °C (без дополнительной подачи воздуха), $T=130-430$ °C (с дополнительной подачей воздуха)

2. Эти режимы для эмульсий начинают реализовываться при температурах выше температуры кипения воды, но значительно меньшей условной температуры возгонки масла.

3. Замечено влияние концентрации воды в ВТЭ на температуру режима самоподдерживающегося факела. Наличие данного эффекта позволяет сделать предположение о каталитическом воздействии паров воды на пары топлива в реакторе подготовки.

Литература

1. Г.А. Терентьев, В. М. Тюков, Ф. В. Смаль Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов. М., Химия, 1989, с. 272.

2. В. М. Чмель, И. П. Новикова, Е. М. Кондратьев, В. В. Опятюк. «Использование жидких углеводородных смесей техногенного происхождения в качестве топлива в печах и котлоагрегатах промышленной и коммунальной энергетики.» Возобновляемая энергетика. № 1, 2009. с. 11-16.

3. Д. М. Хзмалян, Я. А. Каган «Теория горения и топочные устройства» М., Энергия, 1976, с. 185.

4. Е. Н. Кондратьев, В. В. Опятюк «Некоторые особенности испарения капель водотопливной эмульсии при пульсационном режиме» Физика аэродисперсных систем, 2004, № 41, Одесса, Астропринт, с. 190-195.

5. Л. А. Вулис, Л. П. Ярин, Аэродинамика факела. Л., Энергия, 1978, с.216.

PULSATION REGIME OF EVAPORATION OF WATER-FUEL EMULSION DROPLETS.**V. V. Opyatyuk**

The Institute of combustion and advanced technologies,
Odessa National University of I.I. Mechnikov,
65026, Odessa, Ukraine, Dvoryanskaya str., 2

Abstract

This article discusses the existence of the sustainable torch combustion of the reverse type water-fuel emulsions (WFE), previously vaporized in thermochemical reactor (WFE), created on the basis of waste machine and motor oils. The aim is to identify the torch length of the water- emulsion dependence on the water content and temperature in the pretreatment fuel mixture reactor. The paper presents a detailed description of the experimental pretreatment fuel mixture reactor. A technique for obtaining and processing of experimental data is presented. The experimental data in determining the torch length dependence on the reactor temperature and the percentage of water in the water-fuel emulsions are presented. Also the experimental data on the effect of the additional air supply in the thermochemical pretreatment fuel mixture reactor on the height of the torch are presented. Based on this information, the competition of kinetic and hydrodynamic factors affecting the size of the torches is considered. A comparative analysis of the torches heights of the burning reverse type emulsions, created on the basis of heavy hydrocarbon fuels is reviewed. A possible catalytic action of water vapor on the fuel vapor in the pretreatment fuel mixture reactor is suggested. This effect manifests itself in the fact that the temperature in the thermo-chemical reactor at which the existence of a torch burning water-fuel emulsions is possible, is significantly lower than the temperature for the pure heavy hydrocarbon fuel of technogenic or natural origin (waste oil) .

СУЛЫОТЫННЫҢ ҚАЙТАДАН БУЛАНУ КЕЗІНДЕГІ АЛАУЛЫ ЖАНУЫ**В.В. Опятыук**

Жану және дәстүрлі емес тенология институты
И.И. Мечников атындағы Одесса Ұлттық Университеті
65026, Одесса, Украина, Дворянская к-сі, 2

Аннотация

Берілген мақалада термохимиялық реактордағы өңделген көліктік мотор майына негізделген, қайта буланған кері түрдегі сулы отын эмульсиясының алаулы жануының тұрақты аумақта пайда болуы талқыланады. Отын қоспасына термохимиялық дайындық үшін тәжірибелі реактордың толық сипаттамасы көрсетілді. Берілген тәжірибелерді өңдеу мен алу әдістері сипатталды. Сулы-отынды эмульсияда судың пайыздық мөлшері мен реактордың температурасына байланысты алаулардың өлшемдері тәжірибе жүзінде келтірілді. Термохимиялық реакторда отын қоспасы мен қосымша ауаға қатысты алау биіктігінің өзгеруі тәжірибелермен жасалды. Алаудың өлшеміне әсер ететін кинетикалық және гидродинамикалық факторлар арасындағы бәсекелестік туралы сұрақтарға осы берілген ақпараттар жауап береді. Ауыр көмірсутекті отынға негізделген, кері типтегі эмульсияның жану барысында алынған алау биіктігіне салыстырмалы талдау жүргізілді. Реактордағы отын буына су буының каталитикалық әсер ету мүмкіндігі туралы ұсыныс ұсынылды. Термохимиялық реактордағы сулы отынды эмульсияның алаулы жануындағы төменгі температура таза техногенді көмірсутек отыны үшін көрсеткіш болып табылады.