

**МЕТОД ОГНЕВОГО  
ОБЕСФЕНОЛИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД  
КОКСОХИМИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ**

© 2009 Андриенко Е.Ю.,  
Бастеев А.В., д.ф.-м.н.,  
Кравченко О.В., к.т.н.  
(ИПМаш НАНУ),  
Карножицкий П.В., к.т.н.  
(НТУ «ХПИ»),  
Тарасенко Л.В., Камел Юсеф  
(НАУ «ХАИ»)

*Экспериментально исследован процесс горения в теплогенераторной установке, работающей на эмульсии (печное топливо – 90%, фенольная вода – 10%), приготовленной с использованием гидрокавитационной технологии. Методом фотоколориметрирования определено содержание фенолов в продуктах сгорания и показана возможность применения огневого метода для утилизации фенольных сточных вод. Проведён расчёт равновесного состава продуктов сгорания, подтверждающий возможность огневой утилизации фенольных стоков. Подтверждён эффект повышения КПД теплоустановки за счёт интенсификации теплообменных процессов.*

*The process of burning is experimentally explored in the heat generator, working on emulsion (stove fuel – 90%, phenolic water – 10%), prepared with the use of water cavitation technology. Maintenance of phenols is determined with the photocolorimetry method in the products of combustion. The possibility of application of fire method is shown for utilization of phenolic waters of sewers. The calculation of steady state composition of combustion products, confirmative possibility of fire utilization of phenolic flows, is conducted. The effect of increase of heat generator efficiency is confirmed due to intensification of heat-exchange processes.*

Ключевые слова: горение, теплогенератор, фенольная вода, эмульсия, кавитация, огневая утилизация.

.....  
**О**чистка сточных вод промышленных предприятий имеет большое народнохозяйственное значение. Это одна из сложных технических проблем, в решении которой заинтересованы многие отрасли промышленности. В настоящее время интенсивное развитие энергосберегающих технологий и вовлечение в энергетику широкого спектра разнообразных

углеводородных топлив, заменяющих импортируемый природный газ, является актуальной проблемой.

В коксохимической промышленности образуется большое количество сточных вод, загрязнённых различными отходами производства, главным образом, фенолами, которые представляют большую опасность для окружающей среды и здоровья человека. Концентрация фенолов в сточных водах составляет примерно 1,5 г/л.

В настоящее время на большинстве коксохимических предприятий очистка фенольных вод производится биохимическим методом. Этот метод очень эффективен, но имеет ряд недостатков. В частности, установки биохимической очистки очень чувствительны к резким изменениям режимов работы: резкие скачки температуры, pH, концентрации загрязнителей могут привести к гибели микроорганизмов. Кроме того, БХУ занимают значительные площади.

Существует технология добавления воды в топлива для теплоагрегатов (мазут, коксовый газ и др.). Уже успела хорошо зарекомендовать себя на практике технология сжигания мазута в виде водомазутных эмульсий (ВМЭ), где использование эмульгирования мазута позволяет повысить эффективность сжигания топлива и достичь прироста КПД теплоагрегата [1]. Отсюда и возникла идея использования фенольной воды как добавки в углеводородные топлива при приготовлении водо-топливных эмульсий для решения двух проблем: повышения эффективности теплогенерирующих установок и утилизации фенольных сточных вод.

Целью данного исследования является проверка возможности огневой утилизации фенольных стоков, а также определение теплофизических свойств составов на основе углеводородных топлив с добавками воды для обоснования возможности их дальнейшего применения в качестве композитных суспензионных горючих (КСГ) на промышленных теплогенерирующих установках, формулировка практических рекомендаций по организации процесса горения.

В данной работе предлагается известная и предварительно апробированная технология обработки тяжелых нефтепродуктов и продуктов нефтепереработки с водой в эмульгаторах. Использование эмульгированных топлив способствует как улучшению процесса горения, так и теплообмена продуктов сгорания с теплообменными устройствами в современных котлоагрегатах и технологических установках. При этом наблюдается улучшение экологических показателей продуктов сгорания.



Рис. 1 Зависимость теплотворной способности топлив от добавок воды  
1 – печное топливо; 2 – мазут; 3 – дизельное топливо (ДТ)

Вода в виде добавок к углеводородному горючему может рассматриваться в качестве вещества-активатора. В качестве добавки предлагается использовать фенольную сточную воду [2]. В процессе горения водотопливной эмульсии фенолы, содержащиеся в сточной воде, сгорают, благодаря чему происходит обезвреживание фенольных стоков. Для доказательства данного утверждения был проведен расчет равновесного состава продуктов сгорания, а также проводились эксперименты на теплогенерирующей установке мощностью 30 кВт с последующим анализом присутствия фенолов в продуктах сгорания.

Расчёт выполнен с использованием программных продуктов «ASTRA-4» и «PLASMA» [3, 4]. Результаты расчетов по программе для различных составов компо-

зационного топлива представлены в таблице и графиках (рис.1 и 2).

Расчётные исследования позволяют сделать следующие выводы. Добавки воды в печном топливе (ПТ) и в ДТ снижают теплотворную способность и равновесную температуру, при этом в продуктах сгорания снижаются содержания NO и CO, что означает

увеличение полноты сгорания. Теплотворная способность и равновесная температура водомазутной эмульсии незначительно снижается с повышением количества воды. Расчёт равновесного состава продуктов горения фенола в воздухе показал возможность его сжигания.

Результаты расчётов программы PLASMA

Состав		Теплотворная способность, кДж/кг	Равновесная температура горения, К	Содержание NO, моль/кг	Содержание CO, моль/кг
Печное топливо (ПТ)					
	Содержание воды, %				
ПТ	0	40132	2293,2	$9,52 \cdot 10^{-2}$	0,597
	5	38874	2267,4	$8,54 \cdot 10^{-2}$	0,535
	10	37529	2224,8	$7,58 \cdot 10^{-2}$	0,474
	15	36485	2187	$6,53 \cdot 10^{-2}$	0,412
	20	35428	2145	$5,56 \cdot 10^{-2}$	0,346
	25	34256	2098,1	$4,48 \cdot 10^{-2}$	0,278
Мазут (М)					
	Содержание воды, %				
М	0	31907	2433,3	0,167	1,11
	5	31782	2442,2	0,171	1,14
	10	31657	2454,3	0,178	1,18
	15	31532	2467,4	0,186	1,22
	20	31407	2481,6	0,194	1,28
	25	31282	2497	0,203	1,33
Дизельное топливо (ДТ)					
	Содержание воды, %				
ДТ	0	42026	2451	0,188	1,15
	5	41020	2426	0,207	0,86
	10	40016	2393	0,22	0,63
	15	38890	2371	0,227	0,502
	20	37678	2333	0,23	0,355
	25	36563	2307	0,234	0,232

Для получения водо-топливной эмульсии для последующего сжигания в теплогенерирующей установке было использовано гидрокавитационное устройство ГКС-50 [5]. Настройка и регулировка режимов работы генератора кавитации, а также проведение экспериментов по

обводнению топлива, осуществлялось на испытательном стенде (рис. 3).

Добавка фенольной воды в топливо составляла 10 %. Содержание в воде фенола было равно 1,5 г/л, что соответствует концентрации фенолов в стоках коксохи-

мических заводов. Размер капель воды в топливе составил 1-5 мкм.

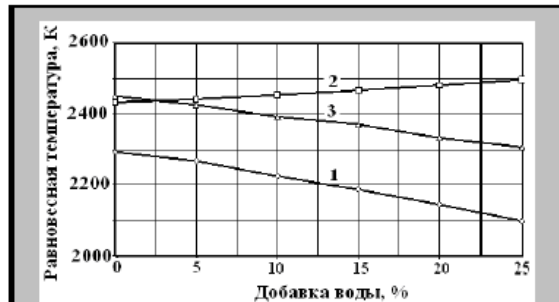


Рис. 2 Зависимость равновесной температуры топлив от добавок воды  
1 – печное топливо; 2 – мазут; 3 – дизельное топливо (ДТ)

Были проведены термометрические и термогравиметрические исследования топлив на основе дизельного топлива, мазута, печного топлива [6-8]. Исследования показали, что эмульгирование КСТ приводит к гомогенизации топлива, что в свою очередь, приводит к небольшому повышению температуры пламени и более спокойному горению. В мазутовом топливе при вскипании содержащейся в нем воды наблюдается взрывной характер горения.

Использование специальной термогравиметрической установки позволило наблюдать процесс горения капли и визуально установить, что эмульгирование влияет на ход предпламенных процессов. На первой стадии эволюции капли топлива происходит ее фрагментация, причем скорость массообмена зависит от интенсивности эмульгирования и процента добавки воды. Помимо этого установлено, что добавка воды увеличивает коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к теплообменнику, а это означает, что повышается интенсивность энергообмена потока продуктов сгорания с поверхностью теплообменного аппарата теплогенераторной установки (ТГУ).

ТГУ работает следующим образом. Вентилятор нагнетает воздух в установку, где воздух делится на два потока. Один поток

поступает в камеру сгорания, чтобы обеспечить нормальный процесс сгорания топлива. Второй поток идет в теплообменный аппарат в качестве нагреваемого теплоносителя.

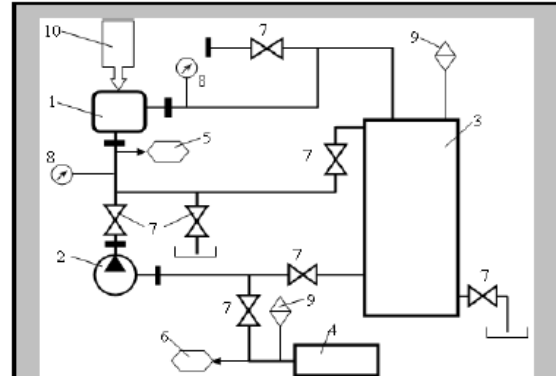


Рис. 3 Принципиальная схема гидрокавитационной установки  
1 – гидрокавитатор; 2 – насос; 3 – бак для топлива; 4 – бак для воды; 5 – расходомер водо-топливной эмульсии; 6 – расходомер воды; 7 – клапаны; 8 – манометр; 9 – термометр; 10 – регулятор кавитатора

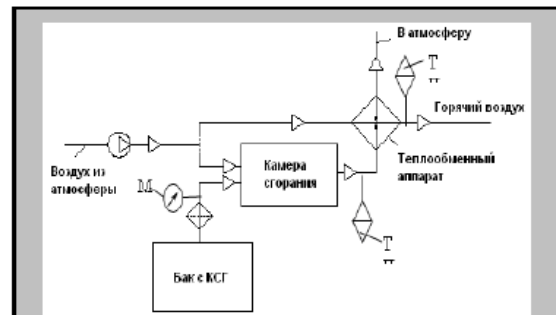


Рис. 4 Принципиальная схема теплогенераторной установки  
М – манометр, ТП – термопара ХК

В камеру сгорания (КС) под определенным давлением через фильтр подается комбинированное топливо. Там происходит процесс горения топлива с образованием дымовых газов и выделением тепла. Дымовые газы поступают в теплообменный аппарат (ТОА) рекуперативного

типа, где передают свою тепловую энергию воздуху. Далее нагретый воздух идет на производственные нужды.

Принципиальная схема установки представлена на рис. 4.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 5.

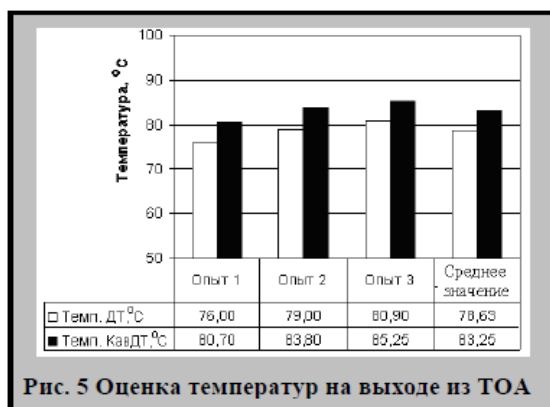


Рис. 5 Оценка температур на выходе из ТОА

Температура на выходе из КС сохранялась постоянной для чистого ПТ и для кавитированного ПТ и составляла  $340 \pm 1$  °С.

На выходе из ТОА температура горячего воздуха возросла в среднем на  $5 \pm 1$  °С при использовании кавитированного ПТ (КавПТ) с добавкой 10 % воды.

Установлено, что при добавлении 10 % воды в ПТ, теплотворная способность топлива падает также на 10 %. При этом температура воздуха на выходе из ТОА повышается. Данный установленный экспериментальный факт может быть объяснен увеличением коэффициента теплоотдачи продуктов сгорания.

Был проведён отбор и анализ проб продуктов сгорания на содержание в них фенола. Среднее значение содержания фенола –  $0,027$  мг/м<sup>3</sup>. За время трёх опытов (1 час) было потрачено 3,5 кг топлива. С учетом исходной концентрации фенолов в воде (1,5 г/л) в использованном количестве воды (10 % от топлива) содержалось 0,42 г фенола. Выход продуктов сгорания с учетом воздуха составил 55,87 кг/ч. Т.о. при отсутствии сгорания фенола его содержание в продуктах сгорания должно было бы составить около

7,5 мг/кг или 5,8 мг/м<sup>3</sup>. Анализ проб продуктов сгорания показал, что содержание фенола составляет  $0,027$  мг/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о сгорании фенолов на 99,6 %.

Метод огневой утилизации фенольных стоков имеет ряд преимуществ перед биохимическим методом, используемым в настоящее время на большинстве коксохимических предприятий. Он более надёжен и прост в эксплуатации и требует значительно меньшей производственной площади по сравнению с БХУ. При этом предлагаемый метод утилизации фенольных вод позволяет попутно увеличить эффективность теплогенерирующих установок.

Таким образом, была подтверждена возможность утилизации фенольных стоков в камере сгорания теплогенератора. Также в результате проведенных работ было подтверждено влияние добавок воды на ход предпламенных процессов.

В дальнейшем предполагается разработка способа обезвреживания фенольных вод в энергоустановках, работающих с добавками коксового и доменного газов.

#### Библиографический список

1. Бабий В.Л., Тумановский А.Г. и др. Совершенствование технологий сжигания топлива // Теплоэнергетика. – 1996. – № 7. – С. 30-39.
2. Бастеев А.В. Принцип активации и его применение в процессах энергопреобразования // Проблемы машиностроения. – 1993. – Вып. 39. – С. 81-87.
3. Исследование и разработка технологии и оборудования для использования водомазутных эмульсий на предприятиях энергетической отрасли / Технический отчет. – Харьков, ХАИ. – 2006.
4. Бастеев А.В., Мусалам Алаа, Форфутдинов В.В. Разработка технологии и особенности рабочего процесса сжигания суспензионных горючих // Авиационно-космическая техника и технология [Сб. научн.

тр.] – Харьков: ХАИ. – 2001. – Вып. 26. – С. 39-41.

5. Бастеев А.В., Мусалам Алаа, Форфутдинов В.В., Кучмамбетов Р.А. Экспериментальное исследование процесса горения суспензионных горючих на основе ПТ и мазута // АВИА-2003: материалы V межд. научн.-техн. конфер., 23-25 апреля 2003 г., Киев. – С. 41.13-41.15.

6. Бастеев А.В., Мусалам Алаа, Форфутдинов В.В., Кучмамбетов Р.А. Экспериментальное моделирование предпламенных процессов суспензионных горючих на основе печного топлива и мазута // АВИА-2003: материалы V межд. научн.-техн. конфер., 23-25 апреля 2003 г., Киев. – С. 41.17-41.20

7. Бастеев А.В., Мусалам Алаа, Форфутдинов В.В., Карножицкий П.В., Кучмамбетов Р.А. Свойства суспензионных горючих и их продуктов сгорания на основе печного топлива и мазута в высокотемпературной среде // Вестник двигателестроения.– 2003. – № 1. – С. 118-120.

8. Кравченко О.В., Тарасенко Л.В., Бастеев А.В., Форфутдинов В.В. Обоснование целесообразности использования в промышленных энергоустановках суспензионных горючих // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 7(43). – С. 7-11.

Рукопись поступила в редакцию 02.12.2008