

УДК 664.2.032.1

Ю.Н.Сергеева, В. Е.Черниченко, А. Д.Горбунов

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ЭМУЛЬСИИ НА ТЕПЛОТУ СГОРАНИЯ**

**Введение.** Наличие влаги затрудняет сжигание мазута вследствие образования пробок воды, прерывающих равномерную подачу топлива к форсункам и осложняющих эксплуатацию котлов.

При отстаивании мазута происходит отделение влаги. Однако в тяжелых и вязких мазутах это отделение осуществляется с большими трудностями. Поэтому было предложено мазут с высоким содержанием влаги сжигать в виде водо-мазутной эмульсии, создаваемой путем перемешивания мазута с водой острым паром или пропускания обводненного мазута через эмульгаторы. Содержание воды в мазуте заметно сказывается на его теплоте сгорания. Каждый процент влаги снижает теплоту сгорания мазута на 418,7 кДж, из которых около 393,6 кДж обусловлено уменьшением содержания горючей массы топлива и 25,1 кДж – расходом тепла на испарение 1 % воды [1].

В натуральных жидких топливах горючие элементы находятся в различных химических соединениях, по теплоте образования которых нет данных. Так как теплоту сгорания жидких топлив невозможно аналитически определить по их элементарному химическому составу, то ее определяют экспериментально с помощью калориметра.

**Постановка задачи.** Сущность этого метода заключается в том, что в герметически закрываемом стальном цилиндрическом сосуде, который называется калориметрической бомбой, помещают в среде кислорода под давлением 2, 5... 3 МПа навеску испытуемого топлива в 1 г. Бомбу погружают в водяной калориметр. В калориметрической бомбе водяные пары, выделяющиеся при сгорании водорода и испарении влаги пробы топлива, конденсируются, выделяя теплоту парообразования. Но вместе с тем в бомбе теплота сгорания получается больше, чем  $Q_{\text{в}}^{\text{п}}$ , так как при сгорании пробы топлива в бомбе в среде кислорода протекают экзотермические реакции образования серной и азотной кислоты, которые в топочных условиях не имеют места [2].

Введя поправку к величине  $Q_6$  на теплоту образования в бомбе азотной кислоты и окисление сернистого газа в  $SO_3$  и растворение последнего в воде, получают высшую теплоту сгорания, МДж/кг

$$Q_B^P = Q_6 - 0,943S_{ор+к} - 4,19 \cdot 10^{-6} Q_6. \quad (1)$$

В формуле (1.1)  $Q_6$  – теплота сгорания по бомбе;  $0,943S_{ор+к}$  – теплота, выделяющаяся при окислении в бомбе  $SO_2$  и  $SO_3$  и растворения последней в воде;  $4,19 \cdot 10^{-6} Q_6$  – теплота образования азотной кислоты в бомбе для жидких топлив.

**Метод исследования и результаты.** Обработку полученных данных по теплоте сгорания водомазутной эмульсии с добавками дизельного топлива производили с использованием методов планирования экспериментов. Принимаем, что теплота сгорания определяется температурой эмульсии, содержанием воды, эмульгатора и количеством капель воды в единице объема эмульсии. Перечисленные факторы были выбраны в качестве варьируемых переменных. Температуру эмульсии  $X_1$  изменяли в диапазоне 4...116 °С. Содержание воды  $X_2$  – 0...36 %. Содержание эмульгатора  $X_3$  – 0...12 %. Количество капель воды в единице объема эмульсии  $X_4$  в ходе экспериментов составляло  $10 \div 70 (1/0.5 \text{ см}^3)$ . Условия экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Условия экспериментов

Фактор	Код	Уровни варьирования					Интервал варьирования, Δ
		-1,414	-1	0	1	+1,414	
Температура эмульсии, °С	$X_1$	4	20	60	100	116	40
Содержание воды, %	$X_2$	0	6	18	30	36	12
Содержание эмульгатора, %	$X_3$	0	2	6	10	12	4
Количество капель воды в единице объема эмульсии, $1/0.5 \text{ см}^3$	$X_4$	10	20	40	60	70	20

В качестве зависимой переменной  $Y$  рассматривали теплоту сгорания. Для исключения систематической ошибки устанавливали случайный порядок постановки опытов во времени. Для описания

многофакторной зависимости выбран ортогональный многокомпозиционный план  $2^4$  и квадратичная модель. Математико-статистическую обработку экспериментов производили по принятой методике [3, 4]. Проверку воспроизводимости опытов проводили по критерию Кохрена. Значимость полученных коэффициентов уравнения регрессии определяли критерием Стьюдента. Адекватность полученной математической модели оценивали с помощью F – критерия Фишера. После обработки результатов экспериментов получено уравнение регрессии для вычисления параметра оптимизации с точностью до 1% .

$$Y=6976,46+283,2X_1-339,7X_2+248,8X_3+217,7X_4-246,966X_1^2-222,042X_2^2+552,617X_3^2-421,439X_4^2-176,5X_1\cdot X_2-126,5X_1\cdot X_3-103,5X_1\cdot X_4-662,X_2\cdot X_3-125X_2\cdot X_4-187,X_3\cdot X_4 \quad (2)$$

Влияние исследуемых факторов показано на диаграмме (рис. 1).

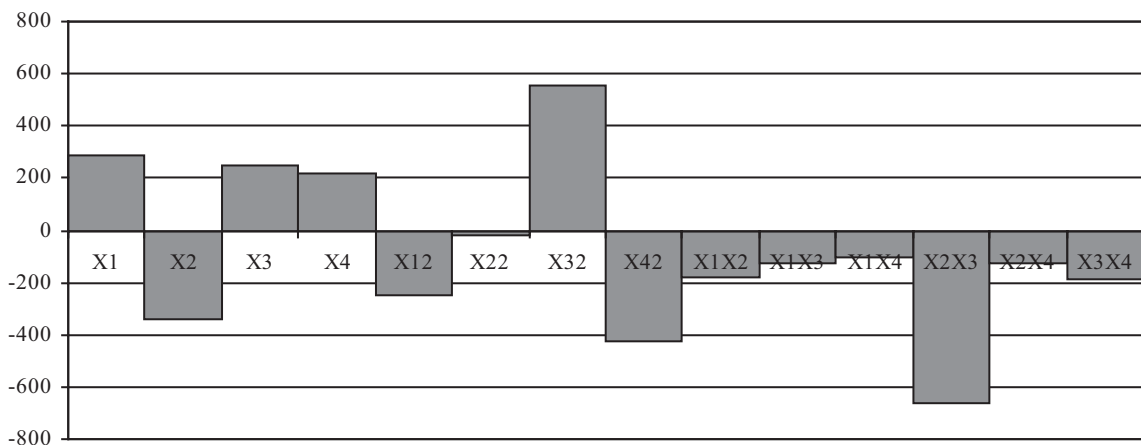


Рисунок 1 - Диаграмма значимости факторов модели

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на теплоту сгорания оказывает фактор X2 – содержание воды в эмульсии. Очевидно, что с увеличением объема дискретной фазы воды теплота сгорания водо-мазутной эмульсии снижается, что и отражено качественно и количественно в результатах экспериментов. Следует отметить, что при сжигании топлива эта зависимость проявляется иначе. В процессе диспергирования водомазутной эмульсии (ВМЭ) капли воды при вскипании, разрываясь, оказывают дополнительное воздействие на процесс дробления. В результате этого образуется поток с большой дисперсностью. В свою очередь, капли меньших размеров быстрее испаряются и факел становится более коротким. Таким образом,

сжигание происходит эффективнее с меньшими химическим и механическим недожогами. Поэтому, несмотря на заметное снижение теплоты сгорания ВМЭ при увеличении содержания в ней воды, вода, безусловно, оказывает положительный эффект. Однако, значительное увеличение объема воды нецелесообразно. В наших экспериментах устанавливалась предельная концентрация  $H_2O$  – 23%, превышение которой приводило к необоснованному снижению теплоты сгорания.

Следующий по степени влияния на теплоту сгорания фактор –  $X_1$  – температура эмульсии. С повышением температуры эмульсии увеличивается теплота сгорания, поскольку меньше энергии затрачивается на нагрев топлива.

В качестве эмульгатора использовано дизельное топливо (фактор  $X_3$ ), которое выполняло еще и функцию пластификатора. При предварительном грубодисперсном эмульгировании с последующим охлаждением эмульсии наблюдалась следующая закономерность. При снижении температуры до  $\approx 60^\circ C$  изменялась структура мазута (в экспериментах М-100) и вода “выжималась” в крупные капли, которые затем сливались в промежуточные слои. При добавлении дизельного топлива до 10% это явление не наблюдалось. ВМЭ имела однородную структуру. Таким образом, наличие дизельного топлива в ВМЭ повышало устойчивость эмульсии, что в свою очередь сказывалось и на теплоте сгорания. Кроме того, дизельное топливо само по себе является в данном случае высококалорийной добавкой к топливу.

Фактор  $X_4$  – количество капель воды в единице объема – определяет дисперсность эмульсии. Очевидно из вышесказанного, что повышение степени дисперсности способствует увеличению теплоты сгорания, но скорее всего косвенно.

**Выводы.** Водомазутная эмульсия является особым видом топлива, качественно и количественно изменяющим процесс горения. Содержащиеся в топливе высокодисперсные частицы водной фазы при нагреве превращаются в паровые пузырьки, мгновенно дробящие топливные капли на мельчайшие частицы. Они быстрее прогреваются и интенсивнее взаимодействуют вначале с кислородом, образующимся в результате диссоциации воды, воспламеняются и, перемешиваясь с кислородом воздушного заряда, ускоренно сгорают. Находящаяся в

составе эмульгированного топлива, водная фаза может быть диссоциирована частично в ходе окисления топлива в предпламенных процессах. Затем по мере повышения температуры в фазе активного сгорания реакция диссоциации воды ускоряется.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований установлено, что добавление к топливу воды ускоряет процесс сгорания и улучшает экологические показатели работы оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования. М.: Наука, 1971.
2. Хзмалян Д. М., Каган Я. А. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д. М. Хзмаляна. Учеб. Пособие для студентов высш. учеб. заведений. М.: Энергия, 1976. – 488 с.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 279с.
4. Бондарь А. Г., Статюха Г. А. Планирование эксперимента в химической технологии. – Киев: Вища школа, 1976. – 184 с.

Получено 03.09.2007 г.