

УДК 664.2.032.1

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

**ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ВОДОМАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

**Введение.** Понятие экологизации технологий производства состоит в проведении мероприятий, направленных на предотвращение отрицательного воздействия производственных процессов на окружающую среду. В отношении применения жидких топлив, являющихся основными составляющими в балансе потребления при производстве энергии, экологизация означает предотвращение выбросов в атмосферу образующихся при сжигании различных вредных веществ, а также предотвращение загрязнения гидросферы и литосферы сточными водами, содержащими нефтепродукты.

В настоящее время природоохранные мероприятия, проводимые на действующих ТЭС и котельных, направлены на снижение выбросов оксидов азота, оксида углерода, а также оксидов серы. Многие широко применяемые сейчас методы организации процесса сжигания топлив преследуют цель подавления образования  $NO_x$ : ступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов, сжигание топлива при пониженных избытках воздуха.

Выполненные нами исследования показывают, что одной из таких технологий для теплоэнергетики, направленной на защиту атмосферного воздуха от выбросов различных ингредиентов  $NO_x$ ,  $CO$ , сажи, многоядерных углеводородов и других вредных веществ является сжигание мазута в виде водомазутных эмульсий (ВМЭ).

**Постановка задачи.** Методы сжигания водомазутной эмульсии широко известны. В исследованиях, посвященных этому вопросу [1...4], установлено, что для достижения поставленной задачи ВМЭ должна быть приготовлена в виде однородной смеси мазута и добавляемой влаги по типу "вода-масло", в которой вода как дисперсная фаза в виде частиц диаметром несколько микрометров находится внутри топливной оболочки. Повышенная эффективность процесса горения эмульсии (даже при предельно низких избытках воздуха) обусловлена микровзрывом ее капель вследствие различия температур кипения воды и мазута. При дополнительном дроблении капель эмульсии достигается ускорение их испарения и улучшается

процесс перемешивания топлива с воздухом, в результате чего с учетом наличия в зоне горения продуктов диссоциации воды процесс сгорания мазута существенно интенсифицируется. Эти особенности сжигания водотопливной эмульсии в литературных источниках представлены только качественно. Поэтому целью данной работы является поиск функциональной взаимосвязи влияния различных факторов и параметров эмульсии на количество  $NO_x$  в отработанных газах.

**Метод исследования и результаты.** С помощью физико-химических методов анализа продуктов сгорания топлива можно определить их количественный состав. Для реализации этой методики измерения используют прибор «Газохром 3201», который фиксирует в отработанных газах наличие  $NO_x$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  и т.п.

Обработку полученных данных по содержанию  $NO_x$  в продуктах сгорания водо-мазутной эмульсии с добавками дизельного топлива производили с использованием методов планирования экспериментов. Принимаем, что  $NO_x$  определяется отношением содержания мазута к содержанию воды, содержанием дизельного топлива, выдержкой эмульсии и коэффициентом избытка воздуха. Условия экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Условия экспериментов

Фактор	Код	Уровни варьирования					Интервал варьирования, Δ
		-1,414	1	0	1	+1,414	
Отношение содержания мазута к содержанию воды, %	$X_1$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	0.1
Содержание дизельного топлива, %	$X_2$	0	5	15	25	30	10
Выдержка эмульсии, час	$X_3$	0	1	6	11	12	5
Коэффициент избытка воздуха	$X_4$	1	1.1	1.25	1.4	1.5	0.15

В качестве зависимой переменной  $Y$  рассматривали содержание  $NO_x$  в продуктах 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 [5]. 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 0.7% .

$$Y=1.387-3.6 \cdot 10^{-2} X_1+4.08 \cdot 10^{-2} X_4+8.54 \cdot 10^{-3} X_3^2-2.187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_2-0.0194 X_1 \cdot X_3-2.187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_4+0.0118 X_2 \cdot X_4 \quad (1)$$

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

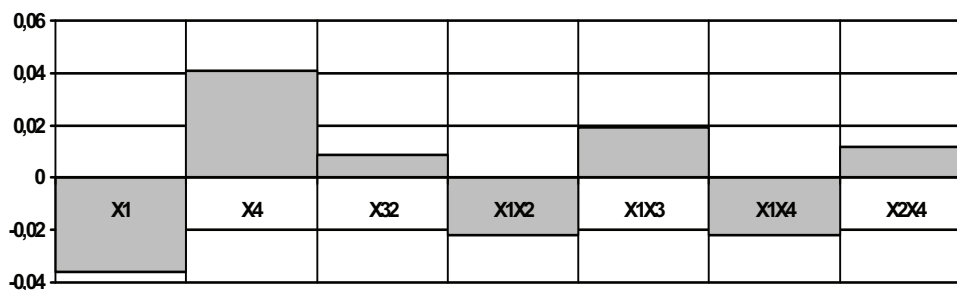
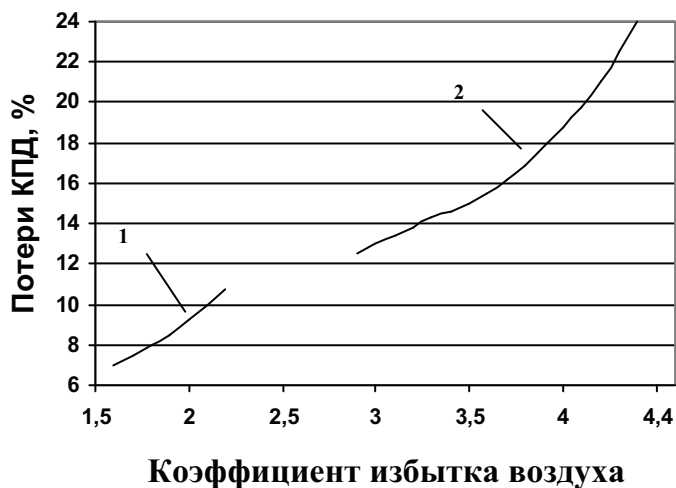


Рисунок 1 - Диаграмма значимости факторов модели

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на содержание  $NO_x$  в продуктах сгорания оказывает отношение содержания мазута к содержанию воды ( $X_1$ ), причем это влияние проявляется и во взаимодействии с  $X_2$  (содержание дизельного топлива) и  $X_4$  (коэффициент избытка воздуха).

Очевидно, что с увеличением количества воды в соотношении  $C_m/C_v$  содержание  $NO_x$  в продуктах сгорания уменьшается. Сравнительный анализ процесса горения мазута и водо-мазутной эмульсии показал, что диспергированная влага оказывает как физическое, так и химическое воздействие на топочные процессы. Физическое воздействие заключается в явлении микровзрывов мельчайших капелек воды, находящихся внутри топливной оболочки. При этом происходит дополнительное перемешивание топлива с воздухом. Диссоциация водяных паров, высвободившихся в результате микровзрывов, приводит к увеличению концентрации активных центров реакции. Значительные концентрации гидроксильного радикала увеличивает скорость выгорания окиси углерода. Дополнительно улучшает выгорание водо-мазутной

эмульсии реакция водяного пара- реакция между паром и раскаленным углеродом. Улучшение перемешивания частиц топлива и воздуха за счет «микровзрывов» позволяет снизить избыток воздуха до критического значения и таким образом повысить КПД котла (рисунок 2) [6].



1—работа на водо-мазутной эмульсии; 2—работа на мазуте.

Рисунок 2 - Зависимость потерь КПД от коэффициента избытка воздуха

Сжигание эмульсий приводит к уменьшению количества окислов азота в продуктах сгорания, так как снижается температура пламени. Кроме того, увеличение количества активных центров реакции активизирует горение и соответственно снижает концентрацию атомарного кислорода. В результате этого снижается скорость окисления азота.

Что касается влияния фактора  $X_4$  -коэффициента избытка воздуха, отметим следующее. По степени влияния на  $Y$  он доминирует и проявляется прямопропорциональная зависимость. В работе экспериментально установлено, что она имеет экстремальный характер (рисунок 3). Увеличение выхода  $NO_x$  до критического значения объясняется повышением концентрации свободного кислорода. При дальнейшем повышении  $\alpha$  на выход  $NO_x$  оказывает влияние температура горения. При изменении  $\alpha$  изменяется также и теоретическая температура горения. При постоянной температуре с увеличением  $\alpha$  выход  $NO$  увеличивается.

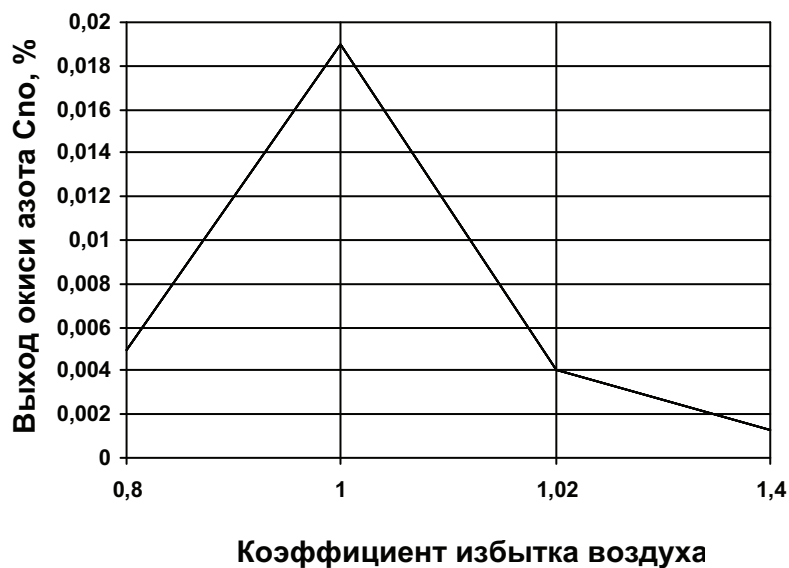


Рисунок 3 - Выход окислов азота в зависимости от коэффициента избытка воздуха

Зависимость  $Y$  от выдержки эмульсии  $X_3$  имеет нелинейный характер, обусловленный скорее всего кинетикой коагуляции частиц дискретной фазы. Но нами установлено, что при значительной устойчивости ВМЭ это влияние практически не значимо.

В эффектах взаимодействий проявляется влияние доминирующего фактора. Исключение составляет  $X_1 \cdot X_4$ . Видимо увеличение концентрации воды в ЭТС способствует образованию дополнительного атомарного кислорода в реакции горения при диссоциации воды или снижению температуры. В результате чего уменьшается и выход окислов азота. Таким образом, чем большие значения принимает соотношение  $X_1 \cdot X_4$ , тем меньше  $Y$ .

### Выводы

1. Сжигание ВМЭ приводит к интенсификации выгорания топлива, уменьшению длины факела и увеличению надежности работы пароперегревателя. Температура уходящих газов при переходе на ВМЭ практически не изменилась. Расчетные оценки показали, что экономические показатели работы котла для традиционного и рекомендуемого вариантов практически одинаковы.

2. Следует особо подчеркнуть, что высокий уровень влажности ВМЭ целесообразно устанавливать только в целях огневого обезвреживания большего количества сточных вод. Если такой необходимости нет, то для значительного снижения газообразных

вредных выбросов вполне достаточно поддерживать соотношение объемов воды и топлива на уровне 3...5% при соответствующей организации процесса сжигания топлива. В этом случае увеличение потери теплоты с уходящими газами (из-за испарения добавляемой влаги) незначительно и вполне компенсируется интенсификацией процесса сжигания топлива и возможностью перехода на более, низкие значения коэффициента избытка воздуха.

3. При соблюдении описанных выше условий увеличения интенсивности низкотемпературной коррозии не наблюдается.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.М. Топливные эмульсии. М.: изд-во Академии наук СССР. 1962.
2. Акчурин Р.Ю., Балахничев Н.А. Подготовка мазута к сжиганию в кавитационном реакторе //Энергетик. 1986. №9.С. 8-9.
3. Попов А.И., Голубь Н.В., Ерофеева В., Харитонов А.К., Щупарский А.И. Уменьшение вредных выбросов при сжигании водомазутной эмульсии -Энергетик. 1983. №2. С 11-14.
4. Кормилицын В.И., Лысков М.Г., Третьяков Ю.М. Экономичность работы парового котла при управлении процессом сжигания топлива вводом влаги в зону горения //Теплоэнергетика. 1988. № 8. С. 13-15.
5. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 279с.
6. 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.

Получено 10.01.2008 г.