

Д.П. Турлайс, В.П. Гривцов, Д.Е. Русов, М.Я. Пурмалис

Рижский технический университет, Латвия

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СЖИГАНИЕ МАЗУТА В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ

### АННОТАЦИЯ

Исследовалось влияние внешнего электрического поля (ВЭП) и внешнего электромагнитного поля (ВЭМП) на факел при сжигании мазута в топке парового котла. Приводятся результаты и обсуждение снижения вредных веществ (ВВ) в уходящих дымовых газах и повышение КПД котла.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что наложением ВЭП на пламя можно снижать концентрацию  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  и др. в продуктах горения и повышать тепловой эффект [1 – 3]. Если имеется довольно большой объём работ по наложению ВЭП и ВЭМП в лабораторных условиях, то публикаций по промышленному использованию ВЭП и ВЭМП в котельных установках, мало. Настоящая работа была проведена в целях опробования наложения ВЭП и ВЭМП на факел сжигания мазута в промышленном паровом котле DE-25-14.

### 2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прирост теплопроизводительности котла  $\Delta Q_1$  составляет  $0,342 \div 0,648$  МВт или  $(6,42 \div 12,17) \%$  при средней теплопроизводительности котла без наложения ЭП  $Q_{\text{иср}} = 5,327$  МВт.

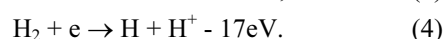
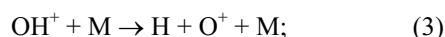
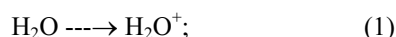
При этом расходимая электрическая мощность  $W = I U$  в факеле ничтожна и составляет только  $(24 - 257) \cdot 10^{-6}$  МВт или 24 – 257 Вт.

Можно предполагать следующие причины увеличения теплового эффекта.

1. Разложение молекул водяного пара в зоне топливопаровоздушной смеси факела под воздействием ЭП. Эта зона содержит относительно большую концентрацию водяных паров, так как мазут распыляется паром, а воздух также содержит водяные пары. При температурах факела разложение  $\text{H}_2\text{O}$  в обычных условиях не происходит.

Применение даже тлеющего разряда позволяет достигать при температурах значительно ниже  $800^\circ\text{C}$ , практически полной диссоциации  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$  [3]

Например [4]:



В связи с очень малой величиной соотношения

$$W/\Delta Q_1 = 3,7 \cdot 10^{-5} \dots 7,5 \cdot 10^{-4}$$

можно предполагать, что ВЭП действует как энергетический катализатор, механизмы которых описаны в [4].

Также Юкичи Асакава указывает на понижение наклона  $\Delta E/R$  в известной формуле Аррениуса  $k = k_0 \exp(\Delta E/RT)$  под влиянием ВЭП, что соответствует влиянию катализатора в химической реакции.

При разложении  $\text{H}_2\text{O}$ , скорость генерирования активных центров возрастает [5]

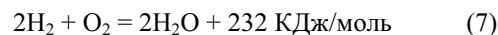
$$\Delta \omega_0 = f(E/p), \quad (5)$$

где  $E$  – напряженность ВЭП;  $p$  – давление, что приводит к ускорению ценных реакций  $\Delta \omega$  и увеличению тепловой энергии выделяемой факелом

$$\Delta Q_1 \approx \rho Q \sqrt{\Delta \omega \alpha}, \quad (6)$$

где  $\rho$  — плотность смеси,  $Q$  — теплота сгорания,  $\alpha$  — теплопроводность.

Увеличение водородного горения в связи с увеличением водорода в смеси



по сравнению с углеродным горением, также увеличивает тепловой эффект.

Увеличение концентрации  $\text{H}_2\text{O}$  в продуктах горения пропана при наложении ВЭП наблюдали в работах [6] и [7].

Можно предполагать, что с увеличением  $\text{H}_2\text{O}$  в продуктах горения, концентрация  $\text{CO}_2$  снижается при снижении или небольшого увеличения  $\text{CO}$ , но общая теплопроизводительность  $Q_1$  возрастает в связи с увеличением водородного горения.

Такая технология соответствовала бы современной мировой тенденции снижения «парникового эффекта»  $\text{CO}_2$ .

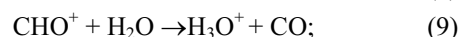
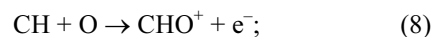
2. Воздействие ВЭП на факел проявляется в увеличении температуры свободных электронов  $T_e$ . Энергия свободных электронов при соударениях передается молекулам газа и радикалам, увеличивая соответственно их температуру  $T_r$  и  $T_p$  в факеле.

При этом

$$T_e > T_p > T_r.$$

Расчет  $T_e$  дан в работе [5].

Возникновение свободных электронов обусловлено протеканием реакций окисления радикалов  $\text{CH}$  и  $\text{C}_2$ :





В случае переменного тока (наложение ВЭМП) мощность, поглощаемая объемом факела в результате столкновения свободных электронов с нейтральными частицами при нагреве газа по [6]

$$W = \frac{n_e e^2}{v^2 m_e} E^2 \frac{v^2}{\omega^2 + v^2}, \quad (11)$$

где  $\omega$  — частота ВЭМП;  $v$  — частота соударений электронов с частицами газа;  $n_e$  — концентрация свободных электронов;  $m_e$  — масса электрона;  $E$  — напряженность поля.

В нашем случае, при  $\omega = 50c^{-1} \ll v$ ,  $W$  практически не зависит от  $\omega$ , но определяется лишь амплитудой эффективной напряженности поля. При обычных способах снижения  $NO_x$ , например: вспыскивание воды в факеле, рециркуляция дымовых газов и др., всегда при снижении  $NO_x$  снижается и теплопроизводительность котла.

Здесь  $\Delta NO_x = 1,5 \div -16,5$  мг/м<sup>3</sup> или  $3 \div -31\%$  при  $NO_{\text{хксп}} = 52,5$  мг/м<sup>3</sup>.

Снижение  $NO_x$  и одновременное повышение  $Q_1$  наблюдали и на других котлах и при сжигании природного газа [3]. Там же даны некоторые объяснения, а также см. [1].

В уходящих дымовых газах заметно снижается содержание  $SO_2$ .  $\Delta SO_2 = (148...248)$  мг/м<sup>3</sup> или — (23... -39)% при  $SO_{2\text{ксп}} = 633$  мг/м<sup>3</sup>.

Для объяснения снижения  $SO_2$  потребуются дальнейшие исследования. Некоторые предположения даны в [1].

Температура уходящих дымовых газов  $t_g$  также в основном понижается  $\Delta t_g = (0,7...3,0)$  °С. Это дает некоторую часть повышения  $Q_1$ . Об улучшении горения свидетельствует снижение содержания углеводородов нефти  $C_n H_m$  в уходящих дымовых газах:  $\Delta C_n H_m = (17...62)$  мг/м<sup>3</sup> или — (6...22) % при  $C_n H_m \text{ к ср} = 282$  мг/м<sup>3</sup>.

Возможно, что это связано с увеличением раскрытия факела под воздействием ВЭП [4]. С увеличением угла раскрытия факела  $\alpha$ , коэффициент расхода  $\mu$  снижается [7].

Снижение  $\mu$  вызывает снижение  $CO_2$  и увеличение  $O_2$  в уходящих дымовых газах (см. график). Также причиной снижения  $CO_2$  может быть увеличение водородного горения, как это указано выше. По графику  $\Delta CO_2 = 0,85...1,30$  % при  $CO_{2\text{к ср}} = 8,41$  %.

Результаты показывают хорошую возможность практического применения этой технологии.

Один и тот же котел работал с наложением ВЭП и без наложения ВЭП попеременно через сутки в течение 10...20 суток.

Рабочий режим котла специально не выбирался, а сохранялись обычные условия.

Средний прирост КПД котла

$$\Delta \eta = 4,72\%.$$

Снижение удельного расхода условного топлива

$$B_{\text{уд}} = 2,49 \text{ (кг/ГДж)}.$$

Экономия условного топлива за 10 суток:

$$B_{\text{у.т}} = 17,2 \text{ т.}$$

Экономия натурального топлива, если  $Q_n^P = 38,5$  МДж/кг

$$B_{\text{н.т}} = 13,1 \text{ т.}$$

В денежном выражении, если 1т натурального топлива — 100 USD

$$\mathcal{E}_{\text{н.т}} = 1310 \text{ USD.}$$

То же за год, если рабочих дней 300

$$\mathcal{E}_{\text{н.т}} = 39\,300 \text{ USD.}$$

Котел работал (переменный ток 50 Гц) 7 часов в сутки попеременно с наложением и без наложения ВЭМП в течение 8 суток. Средний прирост КПД котла  $\Delta \eta = 83,68-80,98 = 2,7$  %.

В данном случае эффективность ниже, чем при применении ВЭП, потому что эффективная амплитуда напряженности ВЭМП меньше, чем в случае ВЭП.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Доказана возможность и экономическая выгода практического применения электрических и электромагнитных полей в котельных установках для одновременного повышения КПД котла и снижения содержания вредных веществ в уходящих дымовых газах.

2. Результаты испытаний показывают снижения  $CO_2$  в уходящих дымовых газах, как предполагается, из-за увеличения водородного горения. При этом теплопроизводительность котла возрастает. Это может служить основой для создания новой технологии содержания топлива с пониженным выбросом  $CO_2$  в атмосферу.

3. Даны некоторые предположения о роли ВЭП как энергетического катализатора химических реакций горения, а также о роли свободных электронов в повышении теплового эффекта факела.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zake M., Turlajs D., Purmalis M.** Electric Field Control of  $NO_x$  Formation in the Flame Channel Flows // The Intern. Journal GLOBAL NEST. Vol. 2. Nr.1. March 2000. P. 99—108.
2. **Пурмалис М.Я.** О возможностях использования электрических полей при сжигании топлив в котельных установках // Изв. вузов СССР. Энергетика. 1988. №5. С. 70—76. Недра, 1984.
3. **Турлайс Д.П., Пурмалис М.Я.** Предварительная обработка коронным разрядом воздуха подаваемого для горения // Теплоэнергетика. 1998. № 6. С. 74—76.
4. **Еремин Е.Н.** Элементы газовой электрохимии. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1961.
5. **Степанов Е.М., Дячков Б.Г.** Ионизация в пламени и электрическое поле. М.: Металлургия, 1968.
6. **Зак М.В., Пурмал М.Я., Сермулиньш В.А., Ягченко И.Н.** Оптические и электрофизические свойства пламени пропана во внешнем электрическом поле // Изв. АН Латвийской ССР. Сер. Физических и технических наук. 1987. № 4. С. 109—115.
7. **Зак М.В., Пурмал М.Я., Сермулиньш В.А.** Взаимодействие переменного электрического поля с пламенем углеводородного топлива // Изв. АН Латвийской ССР. Сер. Физических и технических наук. 1988. № 4. С. 74—81.