

УДК 620:9:502.7.003

А.К.Внуков, И.И.Кальтман, И.П.Шпорта,  
В.М.Ватенмахин, Р.А.АлексашинаЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА СНИЖЕНИЕ  
ТОКСИЧНОСТИ ВЫБРОСОВ ТЭЦ ПРИ ОЧИСТКЕ  
МАЗУТА НА НПЗ

Несмотря на планируемое сокращение использования жидкого топлива в энергетике, ряд ТЭЦ в крупных городах будут и в дальнейшем сжигать мазут, содержащий серу.

Обусловленные выбросами ТЭЦ концентрации  $SO_2$  и  $NO_2$  в приземном слое воздуха в отдельности обычно не превышают предельно-допустимых значений (ПДК), но с учетом суммации токсичного действия этих ингредиентов при отсутствии мер их пресечения возможно превышение нормативов [1]. Устранение вредных компонентов, образующихся при сжигании мазута, требует больших капитальных вложений, эффективное использование которых невозможно без информации о закономерностях изменения затрат. В работе [2] показано, что удаление серы из топлива на НПЗ более эффективно по сравнению с очисткой дымовых газов от  $SO_2$ .

Экономически целесообразная степень очистки мазута от серы с учетом пресечения  $NO_2$ , образующегося при сжигании мазута, может быть установлена на основании эконометрических оценок. В литературе отсутствуют данные о закономерностях изменения затрат на очистку мазута на НПЗ и пресечения выброса окислов азота на ТЭЦ с учетом суммации выброса  $NO_2$  и  $SO_2$ . Для принятия экономически обоснованных решений по оздоровлению атмосферы необходимо располагать данными о затратах в форме аналитически выраженных аппроксимаций.

Степень подавления совместных выбросов двух токсичных компонентов оценивается с помощью суммарного коэффициента пресечения обобщенного приведенного выброса  $\eta_{\Sigma}$  [3].

$$\eta_{\Sigma} = \frac{M_{0,SO_2} \eta_{SO_2} + M_{0,NO_2} \eta_{NO_2} \frac{ПДК_{SO_2}}{ПДК_{NO_2}}}{M_{0,SO_2} + M_{0,NO_2} \frac{ПДК_{SO_2}}{ПДК_{NO_2}}} = \frac{M_{SO_2}^{\Pi}}{M_{0,SO_2}^{\Pi}}, \quad (1)$$

где  $M_{0,SO_2}$ ,  $M_{0,NO_2}$  — соответственно валовые выбросы  $SO_2$  и  $NO_2$  без очистки;  $\eta_{SO_2}$ ,  $\eta_{NO_2}$  — соответственно коэффициенты подавления выбросов  $SO_2$  и  $NO_2$ ;  $M_{SO_2}^{\Pi}$  — суммарный валовый выброс после пресечения, приведенный к  $SO_2$ ;  $M_{0,SO_2}^{\Pi}$  — то же, но без пресечения;  $ПДК_{SO_2}$ ,  $ПДК_{NO_2}$  — предельно допустимые концентрации  $SO_2$  и  $NO_2$ .

Из соотношения (1) следует, что заданная степень пресечения  $\eta_{\Sigma}$  с равным гигиеническим эффектом может быть достигнута воздействием как на выброс  $SO_2$ , так и на выброс  $NO_2$ . Поэтому при расчете и анализе затрат на подавление выбросов целесообразно определить очередность воздействия на  $SO_2$  и  $NO_2$ .

Построим дескриптивно-регрессионные модели, устанавливающие статистические взаимосвязи между удельными приведенными затратами и суммарным коэффициентом пресечения  $\eta_{\Sigma}$ , приведенным суммарным выбросом и приземными концентрациями  $NO_2$  и  $SO_2$ , пересчитанными на  $SO_2$ .

Данные по затратам были получены расчетным путем на ТЭЦ-представителях, в качестве которых были приняты 3 станции с расходом топлива соответственно 280, 420 и 560 тун/ч.

В качестве мер подавления  $NO_2$  принимались следующие: применение прямоточных горелок, переход на сжигание с малыми избытками воздуха ( $\alpha = 1,02$ ), применение рециркуляции 20% газов в воздушные каналы горелок и комплексное использование этих методов; каждое из этих мероприятий снижает выброс  $NO_2$  на 20, 30 и 50% соответственно, а комплексное применение — на 80% (коэффициенты пресечения  $\eta_{NO_2}$  равны 0,2; 0,3; 0,5 и 0,8).

Суммарные затраты на пресечение  $SO_2$  и  $NO_2$ , отнесенные к единице массы обобщенного выброса, приведенного к  $SO_2$ , рассчитываются по формуле

$$\begin{aligned}
 3_{\text{уд}}^{\text{п}} &= \frac{3_{\text{ст}}^{\text{п}}}{M_{\text{O}_2, \text{SO}_2}^{\text{п}} - M_{\text{SO}_2}^{\text{п}}} = \frac{3_{\text{ст}}^{\text{п}} (M_{\text{O}_2, \text{NO}_2}^{\text{п}} - M_{\text{NO}_2}^{\text{п}})}{M_{\text{O}_2, \text{SO}_2}^{\text{п}} - M_{\text{SO}_2}^{\text{п}}} + \\
 &+ \frac{3_{\text{ст}}^{\text{п}} (M_{\text{O}_2, \text{SO}_2}^{\text{п}} - M_{\text{SO}_2}^{\text{п}})}{M_{\text{O}_2, \text{SO}_2}^{\text{п}} - M_{\text{SO}_2}^{\text{п}}} = \frac{3_{\text{ст}}^{\text{п}} \text{NO}_2 + 3_{\text{ст}}^{\text{п}} \text{SO}_2}{M_{\text{O}_2, \text{SO}_2}^{\text{п}} - M_{\text{SO}_2}^{\text{п}}}, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где  $3_{\text{ст}}^{\text{п}} \text{NO}_2$ ,  $3_{\text{ст}}^{\text{п}} \text{SO}_2$  - приведенные часовые затраты по станции на пресечение  $\text{NO}_2$  и  $\text{SO}_2$  соответственно, руб/ч, а  $3_{\text{ст}}^{\text{п}}$  - их сумма;  $3_{\text{NO}_2}^{\text{п}}$ ,  $3_{\text{SO}_2}^{\text{п}}$  - затраты на пресечение  $\text{NO}_2$  и  $\text{SO}_2$ , руб/кг;  $M_{\text{NO}_2}^{\text{п}}$ ,  $M_{\text{SO}_2}^{\text{п}}$  - валовые выбросы при различных степенях пресечения.

Исходные величины капитальных вложений на подавление  $\text{NO}_2$  были приняты по данным ВТИ. Затраты на подавление  $\text{NO}_2$  при использовании рециркуляции газов учитывались в соответствии с данными [5], а на очистку мазута на НПЗ - на основании [2, 4] с учетом рекомендаций ВТИ.

На основе этой информации были рассчитаны приведенные затраты при  $E=0,12$  1/год.

Зависимость удельных приведенных затрат  $3_{\text{уд}}^{\text{п}}$  от коэффициента пресечения  $\eta_{\Sigma}$  показана на рис. 1. Из графика видно, что воздействием на  $\text{NO}_2$  при сжигании мазута можно пресечь не менее 40% выброса суммарной изотоксичной массы при затратах, не превышающих 1 коп/кг пресеченной массы. Дальнейшее снижение суммарного выброса  $\text{NO}_2$  и  $\text{SO}_2$  возможно за счет снижения выбросов серы. Это позволяет повысить величину  $\eta_{\Sigma}$  до 80-85%, однако вызывает рост затрат до 4,5-26 коп/кг в зависимости от степени очистки мазута. Зависимость  $3_{\text{уд}}^{\text{п}}$  от  $\eta_{\Sigma}$  имеет разрыв в диапазоне  $0,44 < \eta_{\Sigma} < 0,59$ . Расчетные данные вследствие ступенчатого характера воздействия на  $\text{NO}_2$  и  $\text{SO}_2$  могут быть аппроксимированы двумя функциями в координатах  $3_{\text{уд}}^{\text{п}}$  и  $M_{\text{SO}_2}^{\text{п}} B_y^{-1}$  (рис. 2):

$$3_{\text{уд}}^{\text{п}} = 177,8 \left( \frac{M_{\Sigma}^{\text{п}}}{B_y} \right)^{-2,54} \quad (3)$$

для  $\eta_{\Sigma} < 0,44$ ;  $48 < \frac{M_{\text{SO}_2}^{\text{п}}}{B_y} < 95$ ;

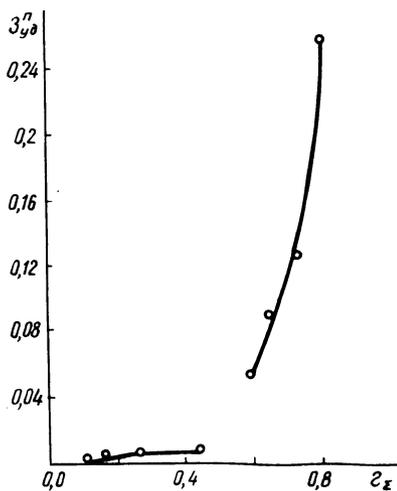


Рис. 1. Зависимость приведенных удельных затрат на пресечение  $\text{NO}_2$  и  $\text{SO}_2$ , отнесенных к 1 кг пресеченной массы, пересчитанной на  $\text{SO}_2$ , руб/кг, от суммарного коэффициента пресечения  $\eta_x$  при сжигании мазута с очисткой на НПЗ.

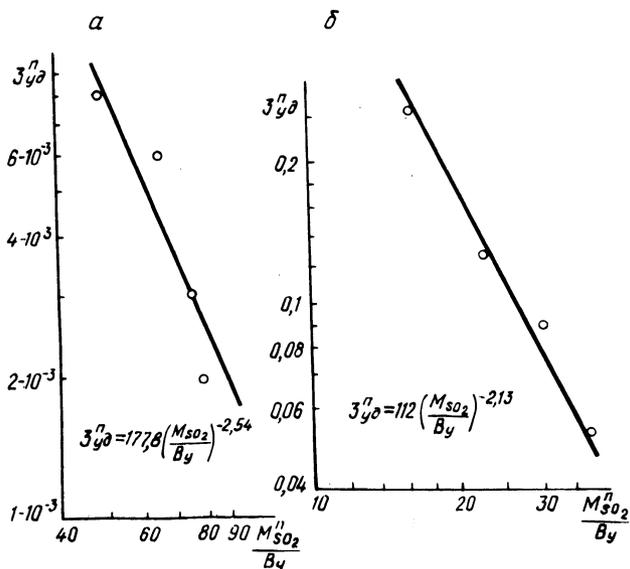


Рис. 2. Зависимость удельных приведенных затрат  $Z_{\text{уд}}^{II}$  (руб/кг пресеченного выброса) от величины приведенного суммарного выброса  $\text{NO}_2$  и  $\text{SO}_2$ , отнесенного к соответствующему расходу условного топлива кг/т у. т. для первой и второй ступени пресечения при очистке серы на НПЗ (а) и для III ступени (б).

$$Z_{уд}^{\Pi} = 112 \left( \frac{M_{\Sigma}^{\Pi}}{B_y} \right)^{-2,13} \quad (4)$$

для  $0,44 < \eta_{\Sigma} < 0,82$ ;  $16 < \frac{M_{SO_2}^{\Pi}}{B_y} < 40$ .

Здесь  $B_y$  - расход условного топлива, т. у. т/ч;  $M_{\Sigma}^{\Pi}$  - оставшаяся часть суммарного выброса после пресечения, т/ч.

Зависимость удельных затрат от приземной суммарной концентрации  $NO_2$  и  $SO_2$ , приведенной к  $SO_2$ ,  $c_{SO_2}^{\Pi}$  выражается равенствами:

$$Z_{уд}^{\Pi} = 177,8 \left( \frac{c_{SO_2}^{\Pi} a_{ПДК} SO_2}{B_y} \right)^{-2,54} \quad (5)$$

для  $\eta_{\Sigma} < 0,44$ ;  $48 < \frac{M_{SO_2}^{\Pi}}{B_y} < 95$ ;

$$Z_{уд}^{\Pi} = 112 \left( \frac{c_{SO_2}^{\Pi} a_{ПДК} SO_2}{B_y} \right)^{-2,13} \quad (6)$$

для  $0,44 < \eta_{\Sigma} < 0,82$ ;  $16 < \frac{M_{SO_2}^{\Pi}}{B_y} < 40$ .

Здесь  $a$  - функция направления и скорости ветра, высоты выброса, удаленности источника загрязнений от точки замера [6].

Полученные соотношения пригодны для оценок приведенных затрат при исходном уровне капитальных вложений на НПЗ в расчете на 1 т/год мазута - 30 руб. (степень очистки мазута от 3 до 0,5%) в эксплуатационных издержках 12,2 руб/т, принятых на основании [4]. Эти исходные затраты соответствуют определенным методам очистки, освоенным промышленностью.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гильденскнольд Р.С., Рихтер Б.В., Левкин В.А. Реальность прогноза атмосферного воздуха и современные гигиенические предпосылки к расчету рассеивания выбросов ГРЭС.

Гигиена и санитария, 1972, № 11. 2. Кропп Л.И. Пути сокращения вредных выбросов ТЭС. – Теплоэнергетика, 1978, №11. 3. Внуков А.К., Шпорта И.П. Техничко-экономические оценки затрат на пресечение токсичных выбросов. – Изв. АН БССР. Сер. Физико-энергетических наук, 1979, №4. 4. Сорокин Я.Г. Особенности переработки сернистых нефтей и охрана окружающей среды. – М.: Химия, 1975. 5. Исследования окислобразования на котле ТП-87 с подовой установкой горелок. Тепловые испытания парогенератора ТП-87 при сжигании мазута (отчет). Белорусский филиал ЭНИН и предприятие. – Минск – Свердловск: Уралтехэнерго, 1978. 6. Указания по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. СН 369-74. – М.: Стройиздат, 1975.

УДК 62-52(0.75.8)

Г.Т.Кулаков, А.Т.Кулаков, Н.Л.Шайковский

### ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НАСТРОЕК ПИ-РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАДАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЯ НА МАКСИМАЛЬНЫЙ ВЫБЕГ РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА

В практике автоматизации теплоэнергетических процессов широкое распространение получили пропорционально-интегральные (ПИ) регуляторы с передаточными функциями вида

$$W_p(p) = k_p \frac{T_i p + 1}{T_i p} \quad (1)$$

где  $k_p$  – коэффициент усиления;  $T_i$  – время изодрома.

Опыт наладки и эксплуатации автоматических регуляторов на тепловых электрических станциях [1] показывает, что при оптимальной настройке регулятора переходные процессы при отработке задающих воздействий должны удовлетворять следующим требованиям: максимальное отклонение  $\Delta X_{\max}$  регулируемой величины не должно превышать 10% от величины нового установившегося значения; максимальный относительный выбег  $X_p$  регулирующего органа не должен превышать величины 1,5; время регулирования  $t_p$  (время, в течение которого, начиная с момента приложения воздействия на систему, регулируемая величина войдет в зону, составляющую  $\pm 2\%$  от величины нового установившегося значения) не должно превышать пяти-семи значений времени изодрома регулятора.