

УДК 621.662.61

**М. М. Чепурний**, к. т. н. доц.;**О. Я. Попов**, к. т. н., доц.;**Н. В. Пішеніна**

## ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ

*Виконано розрахунки для визначення коефіцієнтів надлишку повітря, втрат від хімічної неповноти згорання палива і втрат з відхідними газами в парогенераторах. Побудовано номограми для визначення цих величин.*

На теперішній час вітчизняний паливно-енергетичний комплекс опинився в скрутному становищі, оскільки власним паливом Україна забезпечена лише на 50 %, а ціни на імпортоване паливо постійно зростають. Збільшення енергоспоживання в умовах зменшення запасів палива може призвести до глобальної кризи. Саме тому проблемі енергозбереження відведено чільне місце в проєкті енергетичної стратегії України на період до 2030 року і подальшу перспективу.

Парогенератори теплових електричних станцій (ТЕС) і промислових підприємств є найбільшими споживачами палива в структурі паливно-енергетичного балансу країни. Серед основних заходів підвищення ефективності роботи парогенераторів важливу роль відіграє контроль топкових режимів. Фізична суть регулювання топкових процесів полягає в мінімізації втрат теплоти, які зумовлюють підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) парогенератора до максимального значення. Максимально можливий ККД забезпечується кількісним співвідношенням витрат палива і окислювача (повітря). Постійне корегування цього співвідношення в процесі експлуатації є першою задачею контролю топкових режимів. Друга задача полягає в систематичному оперативному визначенні втрат теплоти і ККД парогенератора. Розв'язання зазначених задач полягає в поєднанні контролю складу топкових газів і одночасному визначенні характерних теплових втрат в парогенераторі. Наприклад, підвищення ККД парогенераторів на Ладжинській ТЕС лише на 1 % зумовлює економію умовного палива майже на 10 млн. тонн за рік.

Методика вимірювань для визначення складу димових газів цілком достатньо висвітлена в літературі [1]. Що стосується теорії та практики розрахунків матеріального і теплового балансів парогенератора, то останні зазнають безперервних уточнень, огляд яких наведений в [2].

З метою запобігання неповноті згорання, яке характеризується вмістом  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  [1—4] в димових газах, паливо в топках парогенераторів спалюється з деяким надлишком окислювача. Відношення дійсної об'ємної витрати повітря до теоретичної (за стехіометричними реакціями горіння) є безрозмірним коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha > 1$ . Лише в найпростіших випадках повного згорання певного палива з фіксованими значеннями  $\alpha$  склад топкових газів відповідає складу, що обчислений за формулами в рекомендованій літературі [1, 3].

На практиці повнота згорання палива контролюється за допомогою автоматичних газоаналізаторів, які визначають вміст триатомних газів  $\text{RO}_2$  в продуктах згорання (димових газах). Але в [3] показано, що визначення  $\alpha$  за вмістом  $\text{RO}_2$  в димових газах має значне розшарування в залежності від видів і марок палива.

Для обробки результатів поточного газового аналізу використовується ідея [4], суть якої полягає в тому, що, незалежно від фактичної повноти згорання палива, матеріальний баланс продуктів згорання приводиться до умов повного згорання ( $\alpha > 1$ ). В попередній роботі авторів [5] доведено, що всі формули для обчислення  $\alpha$ , які рекомендовані в літературі, так чи інакше зводяться до вуглекислотної (1) або кисневої (2) відповідно:

$$\alpha = 1 + \gamma \left( \text{RO}_2^{\text{max}} / \text{RO}_2 - 1 \right); \quad (1)$$

$$\alpha = 1 + \gamma \text{O}_2 / \left( 21 - \text{O}_2^* \right). \quad (2)$$

де  $\gamma = V_{\text{ст}}^{\circ} / V^{\circ}$ ;  $\text{RO}_2^{\text{max}} = 100 / \left( V_{\text{RO}_2} / V_{\text{ст}}^{\circ} \right)$ ;  $V^{\circ}$ ,  $V_{\text{ст}}^{\circ}$  і  $V_{\text{RO}_2}^*$  — теоретичний ( $\alpha - 1$ ) об'єм пові-

тря, сухих газів і триатомних газів відповідно;  $RO_2^*$  і  $O_2^*$  — процентний вміст триатомних газів і кисню в димових газах за результатами газового аналізу, приведених до умов повного згорання [2, 5].

Існує припущення [1, 3], що контроль  $\alpha$  за вмістом  $O_2$  в димових газах є раціональнішим, оскільки в реальних умовах експлуатації парогенераторів робочий склад палива не є постійним, внаслідок чого змінюються значення  $RO_2^{\max}$ . Тому за умови надійного поточного контролю вмісту  $O_2$  за пароперегрівником немає необхідності ускладнювати контроль режиму горіння додатковим аналітичним визначенням  $RO_2^{\max}$  і здійснювати аналіз газів на вміст  $RO_2$ . Зазначимо тільки, що і в цьому разі наявність присмоктувань повітря в області пароперегрівника спричиняє певні похибки у визначенні величини коефіцієнта надлишку повітря в топці, але це, власне, стосується питання підтримання устаткування в належному стані в процесі експлуатації.

В роботі [5] авторами визначені найефективніші топкові режими роботи з меншими, ніж нормативні [6], значеннями  $\alpha$ . Там же показано, що на величину теплових втрат від хімічної неповноти згорання палива  $q_3$  суттєво впливає тільки вміст  $CO$  в продуктах згорання, а вплив інших складових ( $H_2$ ,  $CH_4$ ) виявляється лише за умови  $\alpha < 1,05$ . Тому коефіцієнт надлишку повітря є основним параметром в рівняннях матеріального і теплового балансів котельних агрегатів, за допомогою якого контролюються топкові режими і оцінюється утворення шкідливих оксидів азоту і сірки в процесі спалювання органічних палив.

Як зазначалось, контроль топкових процесів в парогенераторах здійснюється за допомогою автоматичних газоаналізаторів на вміст в продуктах згорання  $RO_2$ . Між тим налагоджено випуск газоаналізаторів, які контролюють вміст  $O_2$  в продуктах згорання палива. В зв'язку з цим для вітчизняних енергетичних палив, які використовуються на теплових електростанціях і котельнях, обчислено та побудовано залежності (рис. 1) для оперативного контролю коефіцієнта надлишку повітря за результатами газового аналізу на вміст  $O_2$ , приведенного до умов повного згорання палива [5].

З рисунка видно, що визначення величини  $\alpha$  в топці за вмістом  $O_2$  дає незначні розшарування для різних енергетичних палив, особливо в діапазоні малих змін  $O_2$ . Це підтверджує справедливність припущення [3] щодо доцільності визначення  $\alpha$  саме за вмістом  $O_2$  в продуктах згорання.

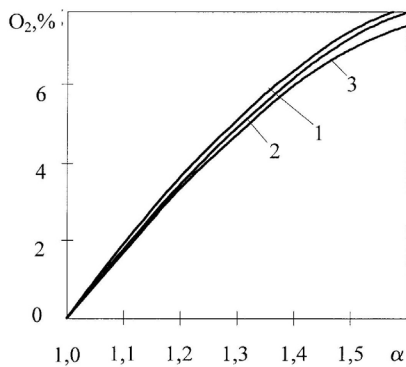


Рис. 1. Зв'язок між коефіцієнтом надлишку повітря в топці та вмістом кисню в продуктах згорання палива: 1 — газ; 2 — мазут; 3 — кам'яне вугілля

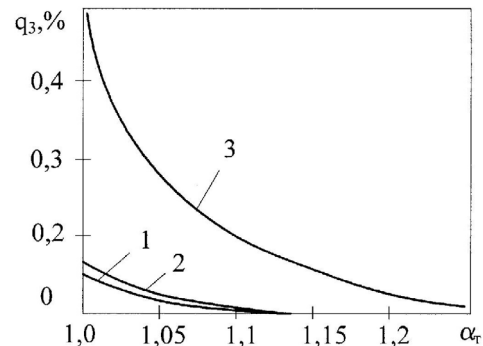


Рис. 2. Значення втрат теплоти від хімічної неповноти згорання палива за результатами газового аналізу на вміст кисню в димових газах (позначення див. на рис. 1)

На рис. 2 показані залежності для визначення втрат теплоти від хімічної неповноти згорання палива  $q_3$  за результатами безпосереднього аналізу димових газів на вміст  $O_2$ . Із цього рисунка видно, що навіть в разі спалювання кам'яного вугілля за умови  $q_3 = 0$ , величина коефіцієнта надлишку повітря в топці не перевищує 1,2. В той же час, нормативне значення  $\alpha_t$  складає 1,25...1,3 і є дещо завищеним.

На визначення нормативних значень  $\alpha_t$  вплинула, очевидно, поширена серед експлуатаційників думка, що режими роботи топки з малими значеннями  $\alpha$  є менш допустимими, ніж режими роботи з підвищеними значеннями  $\alpha_t$ . Ця «перестраховка», як було показано в [5], спричиняє зростання найбільшої теплової втрати з відхідними газами  $q_2$ , що призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії парогенератора і перевитрати робочого палива.

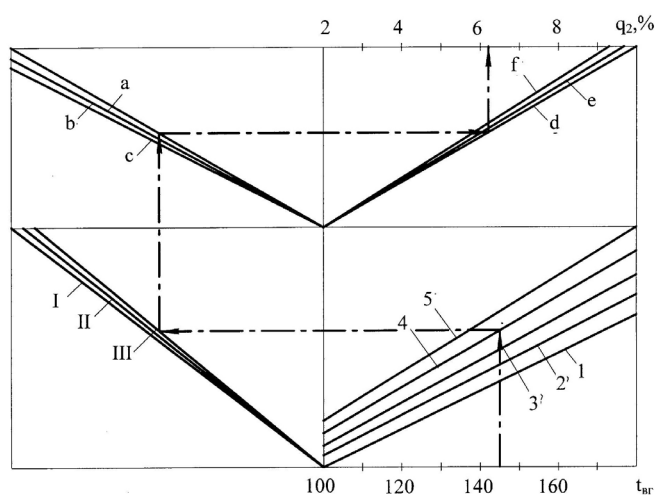


Рис. 3. Номограма для визначення втрат теплоти з відхідними газами:  
 1 —  $\alpha_{вг} = 1,2$ ; 2 — 1,3; 3 — 1,4; 4 — 1,5; 5 — 1,6; I — кам'яне вугілля;  
 II — мазут; III — газ; a —  $t_{хп} = 20^\circ\text{C}$ ;  
 b — 30; c — 40; d —  $q_4 = 0\%$ ; e — 2; f — 4

таві багаточисельних розрахунків значень  $q_2$  для різних видів палива побудована номограма (рис. 3), за допомогою якої можна визначити  $q_2$  в залежності від зазначених вище факторів.

Отримані результати дають змогу оперативного контролювати і корегувати топкові режими з найбільшою ефективністю використання палива в процесі експлуатації парогенераторів.

### Висновки

1. Контроль значень коефіцієнтів надлишку повітря в топці доцільніше здійснювати за допомогою газоаналізаторів, які визначають вміст кисню в продуктах згорання.
2. Нормативні значення коефіцієнта надлишку повітря в топці дещо завищені з точки зору найефективнішого використання палива в парогенераторах.
3. Наявність графіків і номограм для визначення  $\alpha$ ,  $q_3$  і  $q_2$  за умови відомих нормативних значень  $q_4$  і  $q_5$  значно полегшують експрес-аналіз ефективності використання палива в процесі експлуатації парогенераторів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трёмбовля В. И., Фингер Е. Д., Авдеева А. А. Теплотехнические испытания котельных установок. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 316 с.
2. Данилов Е. А., Клочков В. Н. Контроль сжигания топлива в промышленных установках. — Киев: Техніка, 1988. — 166 с.
3. Стырикович М. А., Катковская К. Я., Серов Е. П. Парогенераторы электростанций. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 384 с.
4. Равич М. Б. Эффективность использования топлива. — М.: Наука, 1977. — 344 с.
5. Чепурний М. М., Попов О. Я., Куть Т. П., Визначення ефективності використання палива в парогенераторах, які працюють на мазуті // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2002. — № 6. — С. 47—50.
6. Тепловой расчет котлов. (Нормативный метод). — СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. — 256 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 17.03.05  
 Рекомендована до опублікування 6.04.05

**Чепурний Марко Миколайович** — доцент; **Пишенина Надія Володимирівна** — інженер.

Кафедра теплоенергетики;

**Попов Олександр Якович** — доцент кафедри електричних станцій та систем.

Вінницький національний технічний університет