

УДК 621.311

М. М. Чепурний, к. т. н. доц.; Л. А. Боднар, к. т. н.; О. М. Янківська
ВИКИДИ ОКСИДІВ СІРКИ В АТМОСФЕРУ В ПРОЦЕСІ
СПАЛЮВАННЯ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА В ЕНЕРГЕТИЧНИХ
КОТЛАХ

Побудовано номограми для визначення питомих масових викидів оксидів сірки. Проаналізовано вплив окремих чинників на величину масових викидів.

Ключові слова: *оксиди сірки, теплота згорання палива, димові гази, теплове напруження топки, коефіцієнт надлишку повітря.*

Вступ

Захист атмосферного повітря є однією з найактуальніших проблем для всіх промислових регіонів, оскільки екологічні обмеження перешкоджають розвитку та розширенню потужностей промислових і енергетичних підприємств. Найбільша небезпека забруднення атмосфери пов'язана зі спалюванням енергетичного палива в котельнях. Головною проблемою, яка виникає через наявність в атмосфері шкідливих викидів, є прямий або опосередкований їхній вплив на біосферу та здоров'я людини.

Рідкі та тверді органічні палива, які використовують в теплоенергетиці, мають у своєму складі сірку. Хімічний склад будь-якого палива можна визначити із довідкової літератури [1]. У процесі згорання (окислення) палива утворюються оксиди сірки $SO_x = SO_2 + SO_3$, які є одними із найшкідливіших забруднювачів атмосфери. Діоксиди сірки належать до першої групи шкідливих викидів, кількість яких у продуктах згорання палива мало залежить від технології його спалювання і досить точно може бути визначена за відомим складом і характеристиками палива і паливного пристрою. Як правило, об'ємна частка SO_2 складає 97 – 99%, а частка SO_3 – 1 – 3% від сумарного виходу SO_x . Тому сумарну кількість викидів SO_x запропоновано визначати в перерахунках на діоксид сірки SO_2 .

У газоподібному паливі практично немає сполук сірки, а тому в продуктах згорання не міститься оксидів сірки. Через здорожчання цього виду палива, альтернативним паливом є кам'яне вугілля, вміст сірки в робочому складі якого може сягати до 2,8 – 3,1%. У разі заміни природного газу кам'яним вугіллям необхідно врахувати показник екологічної доцільності такої заміни. Таким показником може бути масова концентрація або питомий масовий викид SO_2 в разі спалювання одного кілограма палива (m , г/с).

Недостатнє застосування засобів інструментального контролю концентрації шкідливих речовин у відхідних газах, зокрема SO_2 , а також необхідність її оцінки на стадіях проектування, реконструкції або модернізації паливовикористальних установок зумовило використання різноманітних розрахункових методів [2 – 7], застосування яких визначається різним ступенем точності та громіздкості.

Зважаючи на вищенаведене, ставилось завдання розробити простий інженерний метод для визначення очікуваних викидів оксидів сірки в атмосферу в разі спалювання рідких і твердих видів органічного палива в топках енергетичних котлів.

Основні результати роботи

Використовуючи [1], для заданого виду палива визначають теплоту згорання робочої маси палива Q_n^p , МДж/кг; відсотковий вміст сірки S^p ; теоретичний об'єм повітря V^0 , м³/кг і теоретичний об'єм димових газів V_r^0 , м³/кг. Залежно від способу спалювання палива та

конструкції паливного пристрою визначають також площу перерізу паливні F , m^2 , коефіцієнти надлишку повітря в паливні α_T та у відхідних газах α_{BG} .

Об'єм продуктів згорання в паливні визначають за [1], m^3/kg :

$$V_G = V_G^0 + 1,016 \cdot (\alpha_T - 1) \tag{1}$$

Далі визначають співвідношення

$$S^* = S^p / V_G, \tag{2}$$

$$V^* = V^0 / V_G, \tag{3}$$

$$\beta = 7 \cdot S^* \cdot 10^{-3}, \tag{4}$$

$$\alpha^* = \alpha_T / \alpha_{BG}. \tag{5}$$

Теплове напруження перерізу паливні, $MДж/m^2$

$$q_F = \frac{B \cdot Q_H^p}{F}, \tag{6}$$

де B – секундна витрата робочого палива.

Після цього відсотковий вміст кисню в продуктах згорання r визначають із рис. 1, а відсотковий вміст SO_3 – із рис. 2. для номінальної потужності або паровидатності котла.

Після визначення величини SO_3 визначають значення коефіцієнта [3]:

$$A = (\beta - 0,01 \cdot SO_3) \cdot 10^3. \tag{7}$$

Питомий очікуваний масовий викид оксидів сірки в атмосферу m , $г/с$ (за умови спалювання 1 $кг/с$ робочого палива) визначають за допомогою номограми, наведеної на рис. 3. У разі неповного завантаження котла, величину m домножують на величину [3]: $D^* = (D_i / D_H)^2$, або $Q^* = (Q_i / Q_H)^2$, де D_i та Q_i – поточна витрата пари або потужність котла, а D_H і Q_H – номінальна паровидатність і потужність котла відповідно.

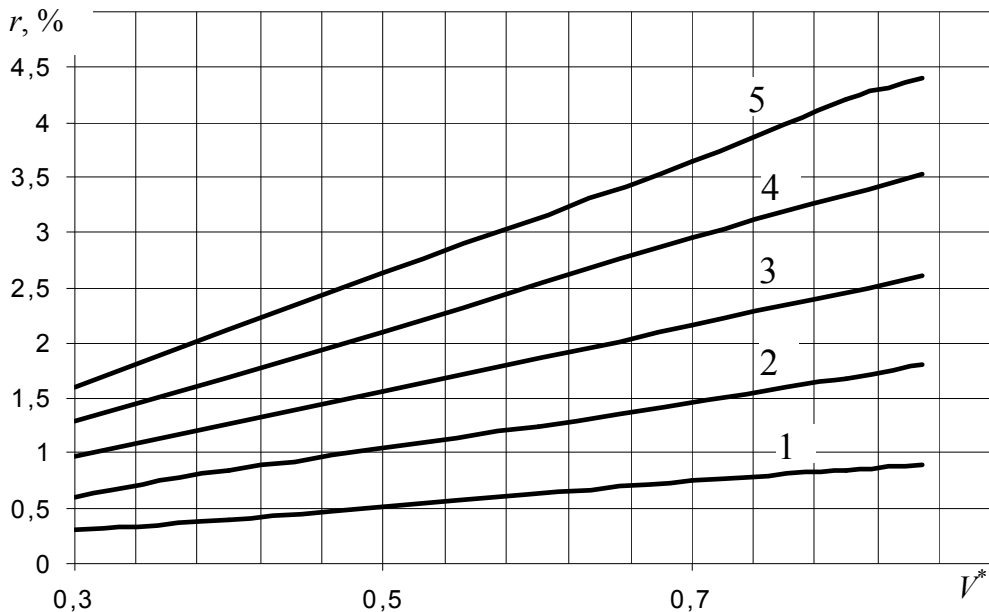


Рис. 1. Уміст надлишкового кисню в продуктах згорання: 1 – $\alpha_T=1,05$; 2 – 1,1; 3 – 1,15; 4 – 1,2; 5 – 1,25

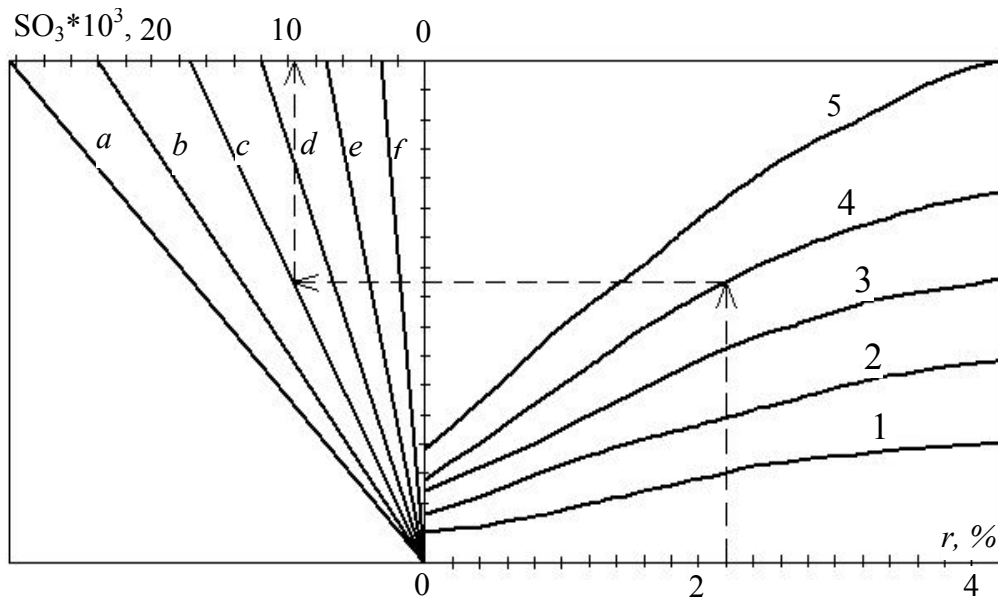


Рис. 2. Номограма для визначення відсоткового вмісту SO_3 в продуктах згорання: 1 – $\beta=0,5 \cdot 10^{-3}$; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 0,5; 5 – 4; а – $q_F=9$ МВт/м²; б – 7; с – 5; д – 3; е – 2; ф – 1

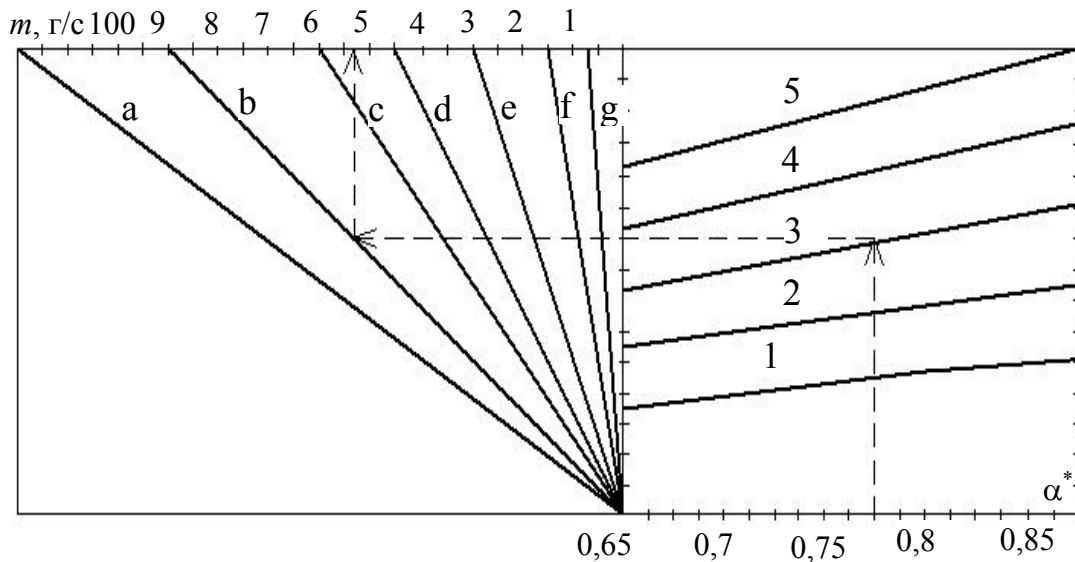


Рис. 3. Номограма для визначення питомого масового викиду оксидів сірки в атмосферу: 1 – $V_g=4$ м³/кг; 2 – 6; 3 – 8; 4 – 10; 5 – 12; а – $A=4$; б – 3; с – 2; д – 1,5; е – 1; ф – 0,5; г – 0,2

Нехай, наприклад, у котлі, який працює з номіальною потужністю, спалюють мазут із характеристиками: $Q_H^p = 38,97$ МДж/кг; $S^p = 2,6\%$; $V^0 = 10,2$ м³/кг; $V_F^0 = 11$ м³/кг. При цьому експлуатаційні характеристики такі: $\alpha_T = 1,05$, $\alpha_{вг} = 1,23$, $q_F = 8$ МВт/м². Треба визначити очікуваний масовий викид оксидів сірки в атмосферу. На підставі наведених початкових даних за формулами (1) – (5) визначаємо: $V_T = 11,51$ м³/кг; $S^* = 0,226$ кг-%/м³; $V^* = 0,886$; $\beta = 1,582 \cdot 10^{-3}$; $\alpha^* = 0,853$.

Із рис. 1 визначаємо: $r = 0,95$; а із рис. 2 – $SO_3 \cdot 10^3 \approx 5$. Тоді величина A у формулі (7) складатиме 1,532, а величина m за номограмою на рис. 3 дорівнюватиме 44 г/с. Детальні розрахунки m за методикою [3] дають результат $m = 43,25$ г/с. Із наведених даних видно, що

відносна похибка у визначенні m за запропонованими номограмами складає 1,7 %, що є цілком задовільним для інженерної практики.

Основними чинниками, які впливають на масовий викид оксидів сірки, окрім S^p , є коефіцієнт надлишку повітря в паливні α_T й теплове напруження перерізу паливні q_F . Залежності $m = f(\alpha_T)$ і $m = f_1(q_F)$ для високосірчастого мазуту, характеристики якого наведено вище, та вугілля Міжрічненського родовища Львівсько-Волинського басейну з характеристиками: $Q_n^p = 21,56$ МДж/кг; $S^p = 3,1\%$; $V^0 = 5,66$ м³/кг; $V_T^0 = 6,09$ м³/кг [1] – наведено на рис. 4 і рис. 5 відповідно.

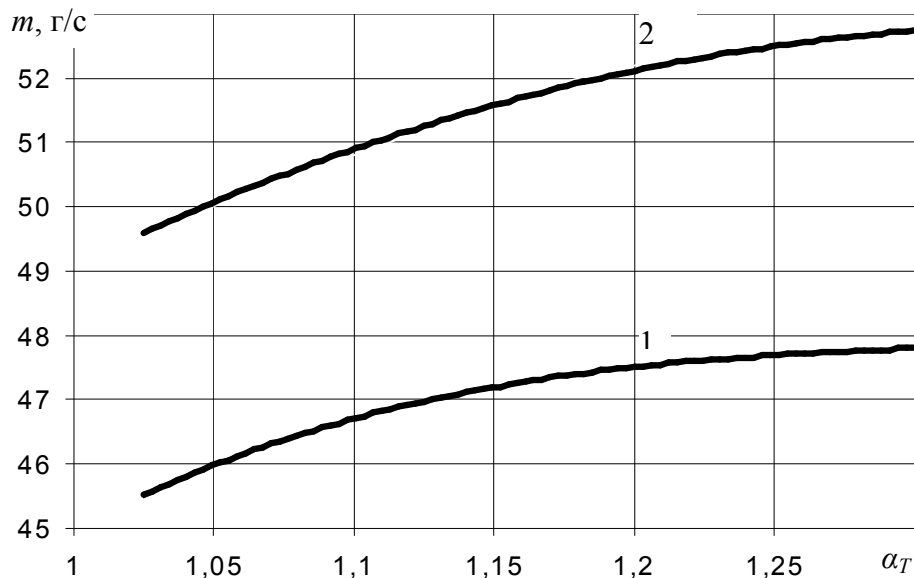


Рис. 4. Поточні значення масових викидів оксидів сірки за умови, що $q_F = 2$ МДж/м², а частка присмокувань повітря дорівнює $\Delta\alpha = 0,2$; 1 – мазут; 2 – вугілля

Із рис. 4 видно, що для однакових режимів спалювання палива викиди SO_2 в разі спалювання вугілля на 9 – 10% більше, ніж під час спалювання мазуту. Це пояснюється більшим вмістом сірки в робочій масі палива. Найбільший вплив α_T на величину m спостерігаємо в діапазоні значень 1,05 – 1,15. Тут збільшення α_T на 0,1 призводить до зростання масового викиду SO_2 на 2,8% для мазуту і на 3,2 % для вугілля.

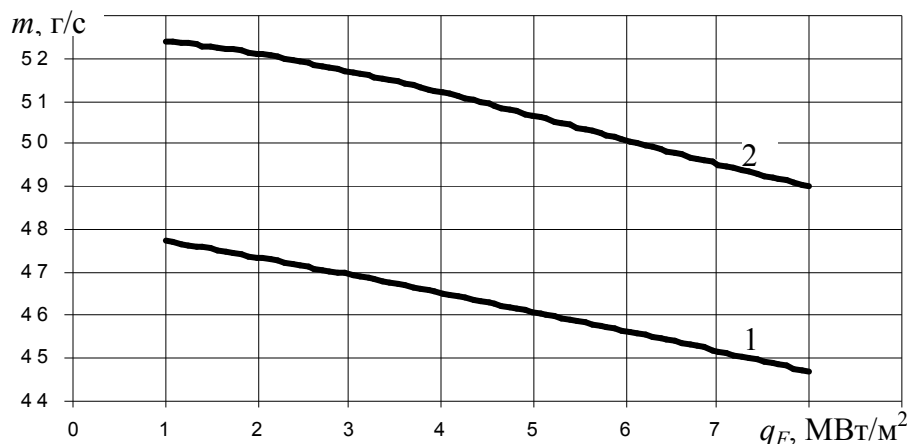


Рис. 5. Уплив q_F на масовий викид SO_2 за умови $\alpha_T = 1,2$ і $\Delta\alpha = 0,2$. 1 – мазут; 2 – вугілля

Залежності, наведені на рис. 5, свідчать про те, що більш форсоване спалювання палива в паливні сприяє зменшенню викидів оксидів сірки. У разі збільшення q_F на 1 МДж/м² спостерігається зменшення викидів SO_2 в середньому на 1 % як у мазутних, так і в пиловугільних паливнях.

Висновки

1. Побудовані номограми з достатньою для інженерної практики точністю дозволяють визначати очікувані викиди оксидів сірки в процесі спалювання мазуту та вугілля в паливнях енергетичних котлів.

2. Режимне зменшення викидів SO_2 досягається в разі зниження коефіцієнтів надлишку повітря в паливні та більш форсованому спалюванні палива.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод: [техн. ред. Г. М. Каган] – СПб.: Изд.-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Волков Э. П. Источники, состав и контроль выбросов промышленных предприятий / Э. П. Волков, М. И. Сапаров, Е. И. Фетисова. М.: МЭИ, 1998. – 56 с.
3. Безгрешнов А. Н. Расчет паровых котлов в примерах и задачах / А. Н. Безгрешнов, Ю. М. Липов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
4. Внуков А. К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов. Справочник / А. К. Внуков. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 276 с.
5. Росляков П. В. Расчет вредных выбросов в атмосферу / П. В. Росляков, Л. Е. Егорова, И. Л. Ионкин. – М.: МЭИ, 2002. – 184 с.
6. Контроль вредных выбросов ТЭС в атмосферу / П. В. Росляков, И. Л. Ионкин, И. А. Закиров. Под ред. П. В. Рослякова. – М.: МЭИ, 2004. – 284 с.
7. Росляков П. В. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов / П. В. Росляков. – М.: МЭИ, 2007. – 336 с.

Чепурний Марко Миколайович – к. т. н., професор кафедри теплоенергетики інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Боднар Лілія Анатоліївна – к. т. н., старший викладач кафедри теплоенергетики інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Янківська Олена Михайлівна – студентка групи ТЕмі-11, інститут будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет.