

ОЦІНКА ПОШИРЕННЯ ЛЕТЮЧОЇ ЗОЛИ ПИЛЕВУГІЛЬНИХ КОТЛІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

За оцінками Всесвітньої вугільної асоціації, спалювання вугілля на електростанціях покриває приблизно 37% світового споживання електроенергії, а вугільна зола є основним відходом продуктів горіння твердого палива в енергетичному секторі. Певна частина вугільної золи, яку називають летючою золою або золою винесення, разом з димовими газами викидається в атмосферу. Незважаючи на сучасні і досить досконалі системи очищення димових газів, загальні обсяги, золи, що забруднюють атмосферне повітря і ґрунти, є дуже значними. Близько 32% земель України забруднені викидами ТЕС.

Численні дослідження вказують, що летюча зола, яка потрапляє у навколишнє середовище при спалюванні вугілля, складається з SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 і незначної кількості MnO , BaO і SO_3 . Також у летючій золі може міститися невелика маса важких металів. Загалом, хімічний та фракційний склад залежить від місця видобування вугілля, способу спалення та типу пилеприготування. Визначальну роль у розсіюванні летючої золи відіграє значення швидкості вітру u_v та швидкості осадження твердих частинок u_{oc} . Оскільки летюча зола переважно складається зі сферичних твердих частинок розміром від 0,1 мкм до 100 мкм, то для розрахунку u_{oc} можна скористатися загальними законами аеродинаміки. Згідно до цих законів для частинок можна скласти баланс сил (рис. 1), серед яких враховується архімедова сила $F_{арх}$, сила тяжіння $F_{тяж}$, та сила лобового опору F_x .

$$F_{арх} = \rho_n g V = \rho_n g \frac{\pi d^3}{6}, \quad F_{тяж} = mg = \rho_c g \frac{\pi d^3}{6}, \quad F_x = C_x A \frac{\rho_n u_{oc}^2}{2} = C_x \frac{\pi d^2}{4} \frac{\rho_n u_{oc}^2}{2},$$

де ρ_n і ρ_c – густина повітря та матеріалу золової частинки, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; d – діаметр золової частинки, м ; C_x – коефіцієнт лобового опору.

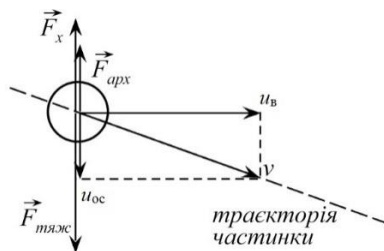


Рис. 1 Баланс сил для золової частинки

Баланс цих сил $F_x = F_{тяж} - F_{арх}$. Звідки швидкість осадження

$$u_{oc} = \frac{1,155}{\sqrt{C_x}} \sqrt{gd \frac{(\rho_c - \rho_n)}{\rho_n}}. \quad (1)$$

У загальному випадку коефіцієнт лобового опору є складною функцією числа Рейнольдса

$$Re = \frac{du_{oc}}{v_n},$$

де v_n – кінематична в'язкість повітря, $\text{м}^2/\text{с}$.

Зважаючи, що для визначення u_{oc} необхідно попередньо визначити коефіцієнт лобового опору, який у свою чергу залежить від u_{oc} , задачу розрахунку швидкості осадження слід розв'язувати методом послідовних наближень. Цей метод передбачає виконання декількох циклів розрахунків. На початку першого циклу довільно задається швидкість осадження у першому наближенні u_{oc}^1 , після чого визначаються Re^1 , C_x^1 та з (1) u_{oc}^2 . Якщо з прийнятою точністю $u_{oc}^1 \neq u_{oc}^2$, то розрахунки повторюються $u_{oc}^2 \rightarrow Re^2 \rightarrow C_x^2 \rightarrow u_{oc}^3$ і так до виконання умови $u_{oc}^{n-1} = u_{oc}^n$.

Розрахунки були проведені для чотирьох основних складових летючої золи – діоксиду кремнію, оксидів алюмінію, заліза, кальцію. Залежність швидкості осадження від розміру золової частинки представлений на рис. 2.

Зважаючи на те, що зола частинка перебуває у русі час

$$t = \frac{H}{u_{oc}},$$

відстань від димової труби, на якій вона потрапить на ґрунт,

$$L = u_v \frac{H}{u_{oc}},$$

де H – висота димової труби, м .

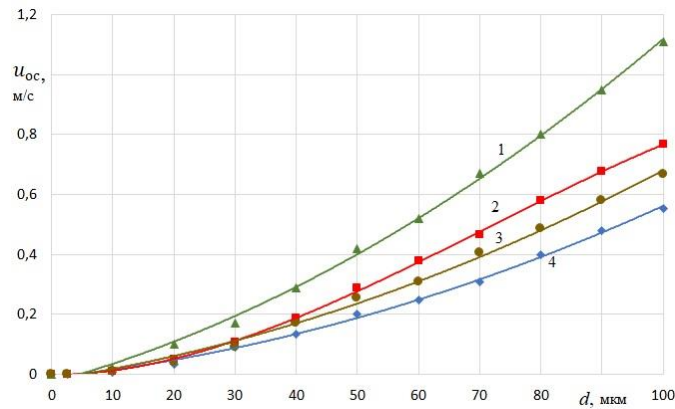


Рис. 2 Залежність швидкості осадження від розміру золистої частинки:
1 – Fe_2O_3 , 2 – Al_2O_3 , 3 – CaO , 4 – SiO_2

У якості прикладу на рис. 3 наведені графіки залежності L від d для діоксиду кремнію при висоті димової труби $H = 180$ м (Молдавська ДРЕС, викиди якої забруднюють територію Одеської області) за різних значень швидкості вітру.

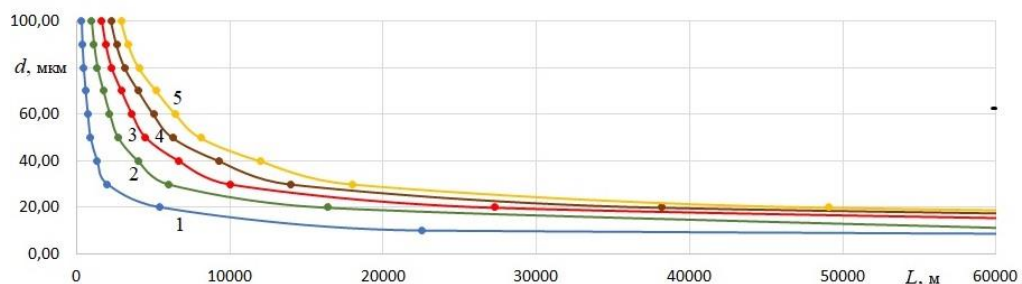


Рис. 3 Залежність відстані L від розміру золистої частинки для SiO_2 :
1 – $u_{\text{в}} = 1$ м/с; 2 – $u_{\text{в}} = 3$ м/с; 3 – $u_{\text{в}} = 5$ м/с; 4 – $u_{\text{в}} = 7$ м/с; 5 – $u_{\text{в}} = 9$ м/с;

Графік засвідчує, що найдрібніші золіві частинки найлегшої складової (діоксиду кремнію) навіть при незначній швидкості вітру подолують відстань у 60 км від Молдавської ДРЕС до Одеси. Якщо мати достовірні дані про фракційний склад летючої золи цієї ТЕС після очищення у мокрих скруберах, то сумісне використання залежності $L = f(d)$ та диференціальної кривої розподілу твердих частинок $N = f(d)$ дозволило б визначити розподіл маси тієї чи іншої складової вздовж осі димового факелу. Оскільки дані про фракційний склад відсутні та керівництво ДРЕС у наданні такої інформації не зацікавлене, можна говорити тільки про якісний аналіз забруднення: 1) зважаючи на те, що переважаючим є північний вітер, більша частина летючої золи потрапляє та осідає на території Одеської області; 2) хімічний склад забруднення ґрунту змінюється вздовж уявної лінії димового факелу – у північній частині Одеського району переважають оксиди заліза, а у безпосередній близькості та у місті Одеса – діоксид кремнію; 3) результати навіть досить приблизних оціночних розрахунків дозволяють зробити висновок про те, що золіві частинки поширюються глибше у територію Одеської області ніж за результатами, отриманими за методикою ОНД-86. Слід зауважити, що при проведенні розрахунків довелося звернутися до певних спрощень. Так, використовувалася класична експериментальна крива для сферичних тіл $C_x = f(Re)$, а це вносить певну похибку, яка збільшується у зоні $Re \ll 1$, що приблизно відповідає PM_{10} . Гіпотеза про сферичність золівих частинок хоч великою мірою і підтверджується аналізом фотознімків з різних літературних джерел, все ж також є спрощенням. Відхилення від сферичності збільшує C_x , а отже фактична відстань поширення несферичної частинки при інших рівних умовах буде більшою. До такого ж відхилення призводить можливе невиконання умови цільності частинки – наявність в ній мікроскопічних порожнин, заповнених димовим газом. Також, у запропонованому методі вважаються незмінними властивості атмосферного повітря та швидкість вітра.