

РОЗСПОВАННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ

1 Основні принципи розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі

Ступінь забруднення повітря біля земної поверхні викидами промислових підприємств обумовлюється не тільки кількістю забруднюючих речовин, що викидаються, але і їх розподіленням в просторі і часі, а також параметрами виходу пилогазоповітряної суміші. В атмосфері викинуті окремі частинки чи групи частинок рухаються завдяки молекулярній і турбулентній дифузії, інтенсивність яких при різних погодних умовах різна і визначається, головним чином, двома факторами: вектором швидкості вітру і вертикальним температурним градієнтом.

Вітер - турбулентний рух повітря над поверхнею Землі - є основним метеорологічним фактором, який впливає на розповсюдження забруднюючих речовин. Залежність концентрації забруднюючих речовин від напрямку руху вітру має важливе значення при вирішенні питань розташування промислових підприємств в плані міста і виділенні промислової золи. При виборі майданчика для будівництва підприємств необхідно враховувати середньорічну і сезонну розподіл вітрів, а також швидкість вітрів окремих румбів. При промислових викидах з низьких джерел (заводських труб) найбільше забруднення спостерігається при слабких вітрах в межах 0...1 м/с. При викидах з високих джерел максимальні концентрації забруднення спостерігаються при швидкостях вітру в межах 3...6 м/с, в залежності від швидкості виходу газоповітряної суміші з отвору джерела.

Температурний градієнт, що характеризує змінювання температури повітря по вертикалі, також впливає на рівень приземної концентрації шкідливих речовин. В звичайних умовах з підніманням вверх температура повітря падає; зменшення її в тропосфері складає в середньому 0,5... 0,6 °С на 100 м піднімання вверх, а в літні дні в найнижчих шарах воно досягає одного градуса і більше. Проте мають місце випадки, коли в окремих шарах тропосфери спостерігається збільшення температури з висотою. Такий стан атмосфери, який характеризується відхиленнями температурного градієнта, носить назву температурної інверсії. Розрізняють приземні і припідняті інверсії. Перші характеризуються відхиленнями температурного градієнта безпосередньо біля поверхні Землі, а припідняті - з'явленням більш теплого шару повітря на деякій висоті від поверхні Землі. Товщина інверсійного шару також, як і висота інверсій, може змінюватися. В інверсійних умовах ослаблюється турбулентний обмін, що приводить до погіршення розсіювання промислових викидів і накопичення шкідливих речовин в приземному шарі.

Для низьких джерел викидів найбільш несприятливим є поєднання приземної інверсії зі слабким вітром. Особливо шкідливе забруднення по-

вітря, коли при холодних викидах (фарбувальні, гальванічні та інші цехи машинобудівних підприємств) припіднята інверсія, розміщена безпосередньо над джерелом, супроводжується слабким вітром, близьким до штилю. В таких випадках викид повинен здійснюватися вище інверсійного шару.

Для того, щоб концентрація шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери не перевищувала гранично допустимих максимальних разових концентрацій, пилогазові викиди підлягають розсіюванню в атмосфері через високі труби. При достатньо високій димовій трубі забруднення досягають приземного шару атмосфери на значній відстані від труби, коли вони вже встигають розсіятися в атмосферному повітрі до допустимих концентрацій.

Ступінь розбавлення викидів атмосферним повітрям знаходиться в прямій залежності від відстані, яку цей викид пройшов до даної точки. Шкідливі речовини, які містяться у викидах, розповсюджуються в напрямку вітру в границях сектора, обмеженого досить малим кутом розкриття факела ($2\alpha = 10-20^\circ$) біля виходу з труби (рис. 1). На відстані від 4 до 20 висот труби (H) факел торкається землі і деформується. При цьому максимальна концентрація шкідливих речовин в приземному шарі спостерігається на відстані $(10...40)H$. Таким чином, можна виділити три зони різного забруднення приземного шару атмосфери:

- 1) зона перекидання факела викиду, яка характеризується відносно невисоким вмістом шкідливих речовин в приземному шарі;
- 2) зона максимального забруднення приземного шару;
- 3) зона поступового зниження рівня забруднення.

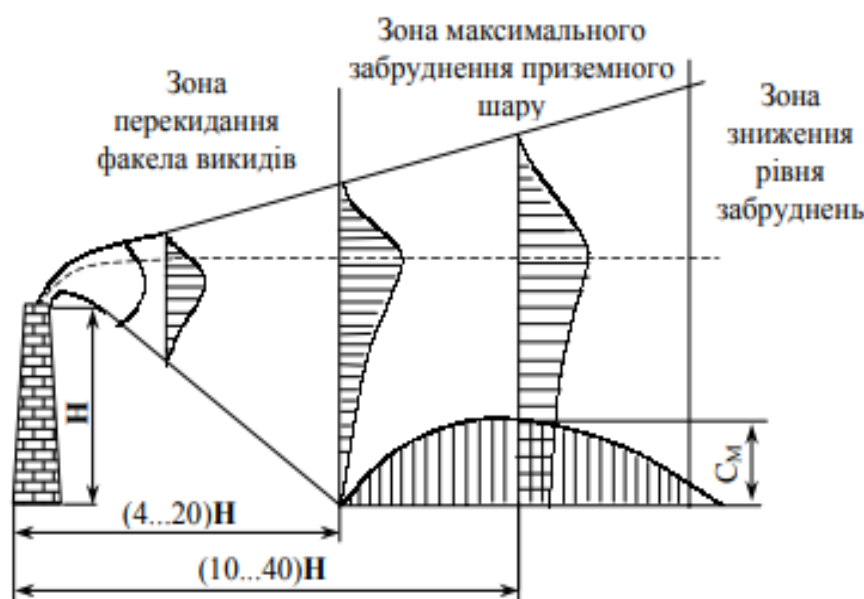


Рисунок . 1 - Схема розподілення концентрації шкідливих речовин в атмосфері при викиді через вертикальну трубу

Основним документом, який регламентує розрахунок розсіювання і визначення приземних концентрацій викидів промислових підприємств, є "Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, ОНД-86". Основою методики є умова, при якій сумарна концентрація кожної шкідливої речовини не повинна перевищувати разову гранично допустиму концентрацію даної шкідливої речовини в атмосферному повітрі, тобто

$$C_{\Sigma} = (C_M + C_{\Phi}) \leq \text{ГДК} \quad 1$$

де C_M - максимальна концентрація забруднюючих речовин в приземному повітрі, утворювана джерелами викидів, мг/м^3 ;

C_{Φ} - фонові концентрації однакових чи однонаправлених шкідливих речовин, характерна для даної місцевості (приймається за довідкою органів санітарно-епідеміологічної служби), мг/м^3 .

При одноразовій присутності в атмосферному повітрі декількох речовин, що мають адекватні властивості, для кожної точки місцевості повинна виконуватися умова:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{Mi} + C_{\Phi i}}{\text{ГДК}_i} \leq 1, \quad 2$$

де i означає i -ту домішку.

При викиді в атмосферу одного чи більше однонаправлених забруднюючих речовин з декількох джерел (однакової чи різної висоти), розташованих на значній відстані одне від одного, забруднення приземного шару атмосфери розраховують для кожної труби. Одержані результати для даної точки місцевості підсумовують з урахуванням падіння концентрацій в перпендикулярному вітру напрямку. В залежності від співвідношення валових викидів з джерел і відстані між ними в перпендикулярному по відношенню до вітру напрямку максимальна сумарна концентрація забруднюючих речовин буде знаходитися або на осі джерела більшої потужності, або між джерелами, але ближче до джерела більшої потужності.

У випадку розрахунку розсіювання викидів, що виділяються в атмосферу через труби однакової висоти, розташовані на близькій відстані одна від одної, труби необхідно приймати за одне еквівалентне джерело такої ж висоти з сумарною кількістю забруднюючих речовин, при розташуванні більше двох сусідніх точкових джерел на одній лінії і збігу з нею напрямку вітру викиди будуть накладатися, що приведе до збільшення приземних концентрацій. Шахове розташування зосереджених джерел приводить до зменшення концентрацій домішок в приземному шарі атмосфери.

У вказаному документі наводяться методики розрахунку забруднення атмосфери викидами поодинокого джерела, лінійного джерела, групи джерел і майданчикових джерел; наведена методика розрахунку забруднення атмосфери з урахуванням сумарної дії декількох речовин; наводяться

методики врахування рельєфу місцевості і фонових концентрацій при розрахунку забруднення атмосфери, а також норми для визначення мінімальної висоти джерел викидів, встановлення гранично допустимих викидів і визначення меж санітарно-захисної зони підприємств.

2 Розрахунок забруднення атмосфери викидами поодинокого джерела

1. Згідно з діючою методикою максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини C_M , мг/м³ при викиді нагрітої газоповітряної суміші з одностовольної труби з круглим перерізом досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані X_M , м, від джерела і знаходиться за формулою:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot r}{H^2 \sqrt[3]{Q \cdot \Delta T}}, \quad 3$$

де A - коефіцієнт, що залежить від температурного градієнта атмосфери, приймається для розташованих на Україні джерел висотою менше 200 м в зоні від 50° до 52° південної широти - 180, а південніше 50° п.ш. - 200;

H - висота джерела викидів (для наземних джерел викидів $H = 2$ м);

M - маса шкідливої речовини, яка викидається в атмосферу за одиницю часу, г/с;

F - коефіцієнт, який враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері (для газів $F = 1$, для пилу при ефективності очищення викидів не менше 90% $F = 2,5$ і менше 75% чи при відсутності очищення - $F = 3$);

h - коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості, у випадку рівної чи слабопересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км, $h = 1$;

ΔT - різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, і температурою навколишнього атмосферного повітря, °С;

Q - витрати газоповітряної суміші, м³/с, що визначаються за формулою:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} V_0, \quad 4$$

де D - діаметр перерізу джерела викиду, м;

V_0 - середня швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду, м/с. Приймається на основі техніко-економічних розрахунків і залежить від висоти труби :

Висота труби H , м	120	150	180	240	330
Швидкість газів на виході V_0 , м/с	15-25	20-30	25-35	30-40	35-45

Значення коефіцієнтів m і n визначаються в залежності від параметрів f , V_M , V_M' і f_e :

$$f = 1000 \frac{V_0^2 \cdot D}{H_{\min}^2 \cdot \Delta T}; \quad 5$$

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{Q \cdot \Delta T}{H_{\min}}}; \quad 6$$

$$V_M' = 1,3 \frac{V_0 \cdot D}{H_{\min}}; \quad 7$$

$$f_e = 800(V_M')^3 \quad 8$$

Коефіцієнт m визначається в залежності від f з рис 2 чи за формулами:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100, \quad 9$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f \geq 100. \quad 10$$

Для $f_e < f < 100$ значення коефіцієнта m розраховується при $f = f_e$

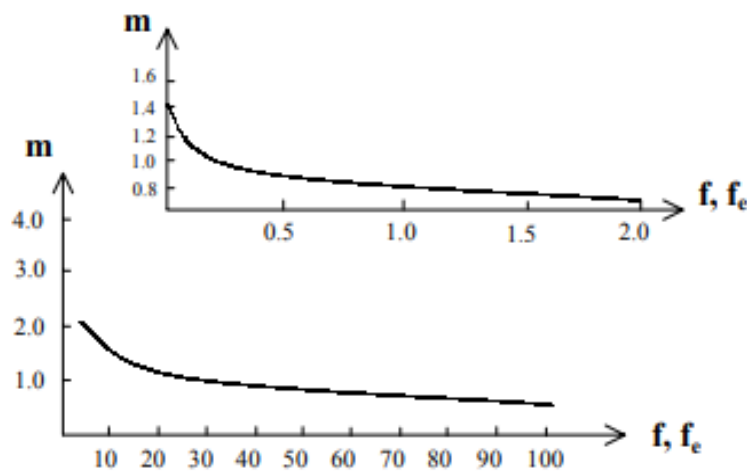


Рисунок 2 - Залежність коефіцієнта m від параметра f

Коефіцієнт n при $f < 100$ визначається в залежності від V_M з рис. 3 або за формулами:

$$n = 1 \quad \text{при } V_M \geq 2; \quad 11$$

$$n = 0,532 V_M^2 - 2,13 V_M + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq V_M < 2; \quad 12$$

$$n = 4,4 V_M \quad \text{при } V_M < 0,5. \quad 13$$

$$f_1 = \frac{0,75 + 0,25X/X_M}{1 + (X/9X_M)^9} \quad \text{при } 1 < X/X_M \leq 8; \quad 39$$

$$f_1 = 0,25 \quad \text{при } 8 < X/X_M < 80;$$

$$f_1 = 0,1 \quad \text{при } X/X_M \geq 80.$$

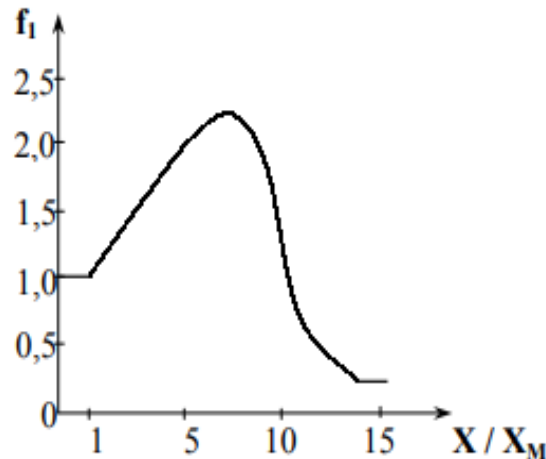


Рисунок 9 - Залежність коефіцієнта f_1 від відношення X/X_M

10. Розрахунки забруднень атмосфери при викидах газоповітряної суміші з джерела з прямокутним отвором проводяться за приведеними вище формулами при середній швидкості V_0 і значеннях $D = D_e$, м і $Q_1 = Q_{1e}$, м³/с.

Середня швидкість виходу в атмосферу газоповітряної суміші V_0 , м/с знаходиться за формулою:

$$V_0 = \frac{Q_1}{L \cdot b}, \quad 40$$

де L - довжина шахти, м;

b - ширина шахти, м.

Ефективний діаметр отвору D_e , м визначається за формулою:

$$D_e = \frac{2L - b}{L + b}. \quad 41$$

Ефективні витрати викидуваної в атмосферу в одиницю часу газоповітряної суміші Q_{1e} , м³/с, знаходяться за формулою:

$$Q_{1e} = \frac{\pi \cdot D_e^2}{4} V_0. \quad 42$$

Примітка. Для джерел з квадратним отвором ($L = b$) ефективний діаметр D_e дорівнює довжині сторони квадрата. В цьому випадку розрахунок розсіювання шкідливих речовин проводиться як для викидів з джерела з круглим отвором.

11. Вирішення обернених задач з визначення потужності викидів M і висоти H , що відповідають заданому рівню максимальної приземної концентрації C_M при інших фіксованих параметрах викидів, знаходиться так.

Потужність викиду M , г/с, відповідна заданому значенню максимальної концентрації C_M , мг/м³, визначається за формулою:

$$M = \frac{C_M \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T}. \quad 43$$

У випадку $f \geq 100$ або $\Delta T \approx 0$

$$M = \frac{C_M \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \frac{8Q_1}{D}. \quad 44$$

Висота джерела H , відповідна заданому значенню C_M , у випадку $\Delta T \approx 0$ знаходиться за формулою:

$$H = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D \cdot \eta}{8 \cdot Q_1 \cdot C_M} \right)^{3/4} \quad 45$$

Якщо знайденому за формулою 45 значенню H відповідає $V_H < 2$ м/с, то H уточнюється методом послідовних наближень за формулою:

$$H_{i+1} = H_i \left(\frac{n_i}{n_{i-1}} \right)^{3/4}, \quad 46$$

де n_i і n_{i-1} – значення знайденого з рис. 3 чи за формулами 11 ... 13 коефіцієнта n , одержані, відповідно, за значеннями H_i і H_{i-1} (при $i = 1$ у формулі 46 приймається $n_0 = 1$, а значення H_i визначається за 45).

Формули 45 і 46 застосовуються також для визначення H при $\Delta T > 0$. Якщо при цьому виконується умова $H \leq V_0 \sqrt{100/\Delta T}$, то знайдене H є точним. Якщо ж $H > V_0 \sqrt{100/\Delta T}$, то для визначення попереднього значення висоти H використовується формула:

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta}{C_M \sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T}}}. \quad 47$$

За знайденим значенням H визначаються на основі формул 5 ... 8 величини f , V_M' , V_M і f_e і встановлюються в першому наближенні коефіцієнти m і n . Подальші уточнення значення H виконуються за формулою:

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_i \cdot n_i}{m_{i-1} \cdot n_{i-1}}}, \quad 48$$

де m_i, n_i відповідають H_i , а $m_{i-1}, n_{i-1} - H_{i-1}$ (при $i = 1$ приймається $m_0 = n_0 = 1$, а H_0 визначається за 47).

Уточнення значень H за формулами 46 і 48 проводиться до того часу, поки два послідовно знайдених значень H (H_i і H_{i+1}) будуть відрізнятися менше як на 1 м.

12. У випадку викидів в атмосферу, зумовлених спалюванням палива, при фіксованих висоті і діаметрі отвору труби відповідні C_M витрати палива σ , т/год визначаються за формулою:

$$\sigma = 3,6H^3 \sqrt{\left(\frac{C_M}{d_3 \cdot A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}\right)^3 d_4 \cdot \Delta\Delta}, \quad 49$$

де d_3 - кількість викидуваної в атмосферу шкідливої речовини на одиницю палива (в необхідних випадках з урахуванням пилогазоочищення), г/кг;

d_4 - витрати газоповітряної суміші, яка виділяється на одиницю маси палива, м³/кг.

13. Для кожного джерела радіус зони впливу розраховується як найбільша з двох відстань до джерела X_1 і X_2 , де

$$X_1 = 10 X_M,$$

а величина X_2 визначається як відстань від джерела, починаючи з якої $C \leq 0,05$ ГДК.

Примітка. Значення X_2 знаходиться графічно за допомогою рис. 5. На вертикальній осі відкладається точка $0,05\text{ГДК}/C_M$, через яку проводиться паралельна горизонтальній осі лінія до перетину з графіком функції S_1 за максимумом. З точки перетину опускається перпендикуляр на горизонтальну вісь, одержане значення X/X_M множиться за X_M , внаслідок чого визначається шукане значення. При $C_M \leq 0,05\text{ГДК}$ значення X_2 покладається рівним нулю.

14. При повному навантаженні обладнання середня концентрація C_M , г/м³ в отворі джерела рівна

$$\tilde{C}_M = M/Q, \quad 50$$

та знаходиться за формулами:

$$\tilde{C}_M = \frac{C_M \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{\Delta T / Q^2} \quad \text{при } f < 100; \quad 51$$

$$\tilde{C}_M = \frac{8C_M \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot n \cdot D \cdot \eta} \quad \text{при } f \geq 100 \text{ або } \Delta T \approx 0.$$

де C_M – відповідна \tilde{C}_M максимальна приземна концентрація, мг/м³.