

УДК 551.510.04

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ ИХ ВЫБРОСАХ ОДИНОЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ

*Терещенко А. В.<sup>1</sup>*DESIGN PROCEDURE OF HARMFUL SUBSTANCES CONCENTRATION IN THE GROUND LAYER  
ATMOSPHERIC AIR AT THEIR EMISSIONS BY THE SINGLE SOURCE

Tereshchenko A. V.

The variant of a design procedure of concentration of harmful substances in a ground layer is offered at emissions by a single source of the enterprise on the basis of ОНД-86. For simplification of algorithm of calculations and programming some groups of the equations are replaced by approximation by one equation. As a result the quantity of the equations and conditional commands is reduced approximately to 50% 'if' in the program. Numerical comparison with the calculation example, resulted in ОНД-86, has shown that an error of the offered variant of calculation no more than 5% that quite arranges practice of calculations. It is established that the maximum of ground concentration decreases with increase in difference of temperatures between temperature of emissions and atmospheres. Other calculations are resulted.

Keywords: height of a source of emissions, ground concentration, speed of a wind, temperature drop, distance to a concentration maximum, approximation of the equations.

ОНД-86 [1] является фундаментальной разработкой, созданной большой группой ученых. Существующие по этой теме работы [2–7] и др. базируются на формулах ОНД-86 [1] без каких-либо нововведений. При этом результаты расчетов могут быть не совсем объективны из-за несовершенства программы [3–5]. В данной работе предлагаются упрощение алгоритма ОНД-86 путем введения новых формул, примеры расчетов и выводы.

1. По ОНД-86 [1] максимальная приземная концентрация вредного вещества определяется уравнением

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (1)$$

где  $A$  — коэффициент, зависящий от климатических условий и широты конкретной местности ( $A = 140 - 250$ );  $M$  — масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени одиночным промышленным источником (трубой) [г/с];  $F$  — безразмерный коэффициент, учитывающий ско-

рость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе ( $F = 1 - 3$ );  $m$  и  $n$  — коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $H$  — высота источника выброса (трубы) над уровнем земли [м];  $\eta$  — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км,  $\eta = 1$ ;  $\Delta T$  — разность температур выбрасываемой газовой смеси и окружающего атмосферного воздуха [°C];  $V_1$  — расход газовой смеси [м<sup>3</sup>/с], определяемый по формуле

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0, \quad (2)$$

где  $D$  — диаметр устья источника выброса [м],  $\omega_0$  — скорость выхода смеси из устья источника [м/с]. Далее через  $U_B$  обозначена скорость ветра [м/с].

В работе приняты следующие термины: холодные выбросы — выбросы источника, температура которых близка к температуре

<sup>1</sup>Терещенко Анатолий Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности» Самарского аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева (национальный исследовательский университет); e-mail: anat.kruckunov@yandex.ru.

атмосферного воздуха (разница при расчетах принята в пределах 1–5°C), горячие выбросы — выбросы, температура которых превышает температуру атмосферы более чем 5°C.

2. В ОНД коэффициенты  $m$  и  $n$  определяются в зависимости от параметров

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (3)$$

$$v_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}, \quad (4)$$

$$v'_M = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H}, \quad (5)$$

$$f_e = 800 (v'_M)^3. \quad (6)$$

3. По ОНД коэффициент  $m$  в зависимости от  $f$  при  $f < 100$  определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}} \quad (7)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \text{ при } f \geq 100. \quad (8)$$

При программировании, если параметр  $f < 100$ , коэффициент  $m$  вычисляется по формуле (7), если  $f \geq 100$ , то по формуле (8). Здесь и ниже в ОНД-86 в программе условных команд «если» очень много. Когда в программе их много, то высока вероятность ошибки. В связи с этим уходит много времени на поиск и устранение ошибок, поэтому предпочтительней было бы иметь прямой расчет с минимальным количеством команд «если».

С целью упрощения процедуры программирования и расчетов два диапазона по формулам (7), (8) для  $0,001 \leq f \leq 2000$  заменяем с погрешностью до 3% одним приближенным уравнением

$$m = 0,65 f^{-0,185} (10^B), \quad (9)$$

где  $B = \mathcal{J}_0 + \mathcal{J}_1$ ,

$$\mathcal{J}_0 = 0,0008(\lg f)^4 - 0,0015(\lg f)^3,$$

$$\mathcal{J}_1 = -0,0397(\lg f)^2 + 0,034(\lg f) + 0,141.$$

Используя формулу (9) имеем возможность выполнять прямые расчеты коэффициента  $m$  в широком диапазоне параметра  $f$  без условных команд «если» по принципу « $X$  подставил  $Y$  получил».

Если  $f_e < f < 100$  значение коэффициента  $m$  вычисляется при  $f = f_e$ .

4. По ОНД коэффициент  $n$  при  $f < 100$  определяется в зависимости от  $v_M$  по формулам:

$$n = 1 \text{ при } v_M \geq 2, \quad (10)$$

$$n = 0,532 v_M^2 - 2,13 v_M + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_M < 2, \quad (11)$$

$$n = 4,4 v_M \text{ при } v_M < 0,5. \quad (12)$$

По аналогии с (7), (8) с погрешностью до 5% все диапазоны формул (10)–(12) для  $0,1 \leq v_M \leq 10$  заменяем одним приближенным уравнением

$$n = 10^{B_1}, \quad (13)$$

где  $B_1 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$ ,

$$A_1 = 0,612(\lg v_M)^6 - 1,181(\lg v_M)^5,$$

$$A_2 = -0,702(\lg v_M)^4 + 1,977(\lg v_M)^3,$$

$$A_3 = -0,276(\lg v_M)^2 - 0,624(\lg v_M),$$

$$A_4 = 0,185.$$

5. Для  $f \geq 100$  или  $\Delta T \approx 0$  (в программе  $1 < \Delta T \leq 5^\circ\text{C}$ ) и  $v'_M \geq 0,5$  (холодные выбросы, при которых температура выбрасываемой смеси превышает температуру атмосферного воздуха не более, чем на  $5^\circ\text{C}$ ), при расчете  $C_m$  вместо формулы (1) используется формула (14)

$$C_m = \frac{AMF n \eta}{H^{4/3}} K, \quad (14)$$

$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1 \sqrt{\omega_0 V_1}},$$

а  $n$  вычисляется по формуле (13) при  $v_M = v'_M$ .

6. При  $f < 100$  и  $v_M < 0,5$  или  $f \geq 100$  и  $v'_M < 0,5$  (случай предельно малых скоростей ветра) максимум концентрации  $C_m$  вместо формулы (1) рассчитывается по следующим формулам:

$$C_m = \frac{AMF m' \eta}{H^{7/3}}. \quad (15)$$

$$m' = 2,86 m \text{ при } f < 100, v_M < 0,5, \quad (16)$$

$$m' = 0,9 \text{ при } f \geq 100, v'_M < 0,5. \quad (17)$$

7. Расстояние  $X_m$  [м] от источника выбросов, на котором приземная концентрация  $C$  [мг/м<sup>3</sup>] достигает максимального значения  $C_m$  определяется из соотношения

$$X_m = \frac{5 - F}{4} dH, \quad (18)$$

где безразмерный коэффициент  $d$  при  $f < 100$  (горячие выбросы) находится следующим образом:

$$d = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}) \text{ при } v_M \leq 0,5, \quad (19)$$

$$d = 4,95v_M(1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \text{ при } 0,5 < v_M \leq 2, \quad (20)$$

$$d = 7\sqrt{v_M}(1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \text{ при } v_M > 2. \quad (21)$$

Формулы (20), (21) заменяются с погрешностью до 5% без коэффициента  $K_1$  для  $0,5 < v_M \leq 10$  одним приближенным уравнением

$$d = (B_2 + B_3)K_1, \quad (22)$$

$$B_2 = -0,0066v_M^4 + 0,171v_M^3 - 1,635v_M^2,$$

$$B_3 = 8,155v_M - 1,556,$$

где  $K_1 = (1 + 0,28\sqrt[3]{f})$ .

Таким образом, для расчета коэффициента  $d$  вместо трех формул (19)–(21) используется две (19), (22).

При  $f > 100$  или  $\Delta T \approx 0$  ( $1 \leq \Delta T \leq 5$ ) т.е. для холодных выбросов, коэффициент  $d$  рассчитывается как

$$d = 5,7 \text{ при } v'_M \leq 0,5, \quad (23)$$

$$d = 11,4v'_M \text{ при } 0,5 < v'_M \leq 2, \quad (24)$$

$$d = 16\sqrt{v'_M} \text{ при } v'_M > 2. \quad (25)$$

Формулы (23)–(25) для коэффициента  $d$  можно заменить с погрешностью до 5% одним соотношением для ( $0,1 \leq v'_M \leq 10$ )

$$d = 10^{B_4}, \quad (26)$$

где  $B_4 = Ж_2 + Ж_3 + Ж_4$ ,

$$Ж_2 = 0,755(\lg v'_M)^5 - 0,06(\lg v'_M)^4,$$

$$Ж_3 = -1,295(\lg v'_M)^3 + 0,25(\lg v'_M)^2,$$

$$Ж_4 = 1,021(\lg v'_M) + 1,046.$$

**8.** По ОНД-86 опасная скорость ветра  $U_m$  [м/с], при которой достигается максимум приземной концентрации вредных веществ (примерно 10 м от уровня земли) в случае  $f < 100$  (горячие выбросы), определяется по формулам

$$U_m = 0,5 \text{ при } v_M \leq 0,5, \quad (27)$$

$$U_m = v_M \text{ при } 0,5 < v_M \leq 2, \quad (28)$$

$$U_m = v_M(1 + 0,12\sqrt{f}) \text{ при } v_M > 2. \quad (29)$$

С целью упрощения расчетов (27), (28) можно заменить для  $0,1 \leq v_M \leq 2$  одним уравнением

$$U_m = (Л_1 + Л_2 + Л_3), \quad (30)$$

где

$$Л_1 = -0,745 v_M^6 + 4,793v_M^5 - 11,585v_M^4,$$

$$Л_2 = 12,655v_M^3 - 5,448v_M^2,$$

$$Л_3 = 0,875v_M + 0,458,$$

а диапазон для  $v_M > 2$  рассчитывается по формуле (29).

**9.** Опасная скорость ветра  $U_m$  [м/с] в случае  $f > 100$  или  $\Delta T \approx 0$  (холодные выбросы) определяется из соотношений

$$U_m = 0,5 \text{ при } v'_M \leq 0,5, \quad (31)$$

$$U_m = v'_M \text{ при } 0,5 < v'_M \leq 2, \quad (32)$$

$$U_m = 2,2v'_M \text{ при } v'_M > 2. \quad (33)$$

Формулы (31) и (32) заменяем для  $0,1 \leq v'_M \leq 2$  одним приближенным уравнением

$$U_m = C_1 + C_2 + C_3, \quad (34)$$

$$C_1 = -0,787(v'_M)^6 + 5,126(v'_M)^5,$$

$$C_2 = -12,551(v'_M)^4 + 13,933(v'_M)^3,$$

$$C_3 = -6,217(v'_M)^2 + 1,065(v'_M) + 0,444,$$

а значения  $U_m$  для  $v'_M > 2$  определяются прежней формулой (33).

**10.** Максимум приземной концентрации вредного вещества  $C_{MU}$  [мг/м<sup>3</sup>] и скорости ветра  $U_B$  [м/с], отличающейся от опасной скорости ветра  $U_m$  [м/с] определяется как

$$C_{MU} = rC_m, \quad (35)$$

безразмерный коэффициент  $r$  в зависимости от отношения

$$\frac{U_B}{U_m} \text{ при } \frac{U_B}{U_m} \leq 1$$

определяется по формулам

$$r = 0,67 \left( \frac{U_B}{U_m} \right) + 1,67 \left( \frac{U_B}{U_m} \right)^2 - 1,34 \left( \frac{U_B}{U_m} \right)^3, \quad (36)$$

а при  $\frac{U_B}{U_m} > 1$ ,

$$r = \frac{3\left(\frac{U_B}{U_m}\right)}{2\left(\frac{U_B}{U_m}\right)^2 - \left(\frac{U_B}{U_m}\right) + 2}. \quad (37)$$

Две формулы (36), (37) заменяются одной приближенной формулой для  $(0, 1 \leq \frac{U_B}{U_m} \leq 20)$  с погрешностью до 5%

$$r = 10^{\Phi_1}, \quad (38)$$

где  $\Phi_1 = T_1 + T_2 + T_3$ ,

$$T_1 = -0,212 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^6 - 0,04 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^5,$$

$$T_2 = 0,89 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^4 + 0,0023 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^3,$$

$$T_3 = -1,6 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^2 + 0,175 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right) - 0,022.$$

**11.** Расстояние от источника выброса  $X_{MU}$  [м], на котором при скорости ветра  $U_B$  [м/с] приземная концентрация вредных веществ достигает максимума  $C_{MU}$  [мг/м<sup>3</sup>], определяется по формуле

$$X_{MU} = P X_m, \quad (39)$$

где  $P$  — безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения  $\frac{U_B}{U_m}$

$$P = 3 \text{ при } \frac{U_B}{U_m} \leq 0,25, \quad (40)$$

$$P = 8,43 \left(1 - \frac{U_B}{U_m}\right)^3 + 1$$

$$\text{при } 0,25 < \frac{U_B}{U_m} \leq 1, \quad (41)$$

$$P = 0,32 \frac{U_B}{U_m} + 0,68 \text{ при } \frac{U_B}{U_m} > 1. \quad (42)$$

Формулы (40)–(42) заменяются для диапазона  $0, 1 \leq \frac{U_B}{U_m} \leq 20$  одним приближенным уравнением

$$P = 10^{H_1}, \quad (43)$$

где  $H_1 = Ю_1 + Ю_2 + Ю_3$ ,

$$Ю_1 = 0,436 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^6 - 0,214 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^5,$$

$$Ю_2 = -1,31 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^4 + 0,673 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^3,$$

$$Ю_3 = 1,331 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right)^2 - 0,378 \left(\lg \frac{U_B}{U_m}\right) + 0,06.$$

**12.** При опасной скорости ветра  $U_m$  [м/с] приземная концентрация вредных веществ  $C$  [мг/м<sup>3</sup>] в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояния  $X$  [м] от источника выброса может быть определено следующим образом:

$$C = S_1 C_m, \quad (44)$$

где  $S_1$  — безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения  $\frac{X}{X_m}$ , при  $\frac{X}{X_m} \leq 1$  по формуле

$$S_1 = 3 \left(\frac{X}{X_m}\right)^4 - 8 \left(\frac{X}{X_m}\right)^3 + 6 \left(\frac{X}{X_m}\right)^2, \quad (45)$$

и при  $1 < \frac{X}{X_m} \leq 8$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \left(\frac{X}{X_m}\right)^2 + 1}. \quad (46)$$

Формулы (45) и (46) заменяем для диапазона  $0, 1 \leq \frac{X}{X_m} \leq 8$  и  $F \leq 1$  одним приближенным уравнением

$$S_1 = 10^{D_1}, \quad (47)$$

где  $D_1 = И_1 + И_2 + И_3 + И_4$ ,

$$И_1 = -0,322 \left(\lg \frac{X}{X_m}\right)^6 - 0,265 \left(\lg \frac{X}{X_m}\right)^5,$$

$$И_2 = 0,754 \left(\lg \frac{X}{X_m}\right)^4 + 0,291 \left(\lg \frac{X}{X_m}\right)^3,$$

$$И_3 = -1,647 \left(\lg \frac{X}{X_m}\right)^2 + 0,042 \left(\lg \frac{X}{X_m}\right),$$

$$И_4 = 0,002.$$

Для других значений  $F$  и  $\frac{X}{X_m}$  коэффициент  $S_1$  по ОНД-86 определяется таким образом:

$$S_1 = \frac{X}{X_m} \left( 3,58 \left(\frac{X}{X_m}\right)^2 - 35,2 \left(\frac{X}{X_m}\right) + 120 \right)^{-1} \quad (48)$$

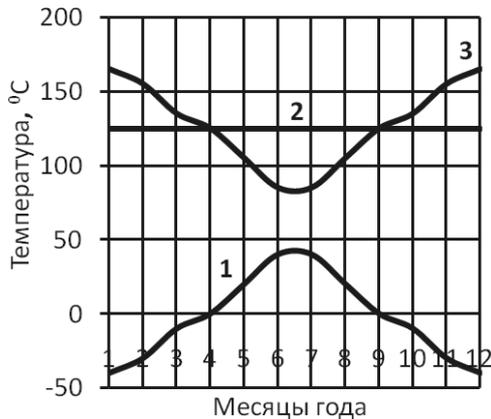


Рис. 1. Распределение температуры в течение года (1–12 — месяцы года): 1 — изменение температуры атмосферы в течение года, 2 — температура выбросов источника в течение года, 3 — перепад температуры в течение года

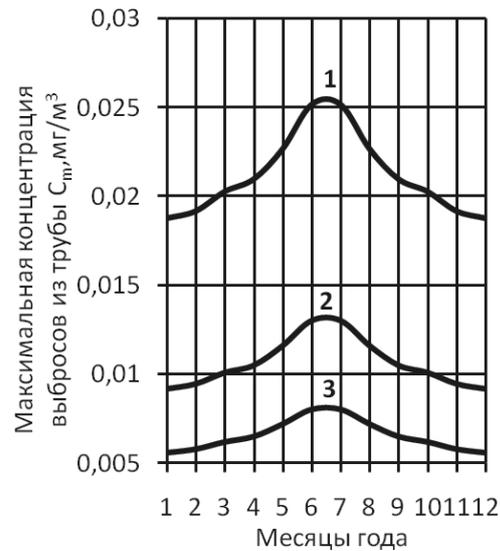


Рис. 2. Годовое распределение максимальной приземной концентрации выбросов из трубы  $C_m$  для различных высот трубы ( $H$ ): 1 — 100 м, 2 — 150 м, 3 — 200 м

при  $1 < F \leq 1,5$  и  $\frac{X}{X_m} > 8$ ,

$$S_1 = \left( 0,1 \left( \frac{X}{X_m} \right)^2 + 2,47 \left( \frac{X}{X_m} \right) - 17,8 \right)^{-1} \quad (49)$$

при  $F > 1,5$  и  $\frac{X}{X_m} > 8$ .

Выполнено сравнение результатов расчетов по приведенным приближенным формулам и по формулам ОНД-86, для чего исходные данные взяты из примера ОНД-86: температура выбрасываемой смеси  $T_C = 125^\circ\text{C}$ ; температура окружающего воздуха  $T_B = 25^\circ\text{C}$ ; выброс двуокиси серы  $M_{SO_2} = 12$  г/с; коэффициенты:  $A = 200$ ,  $F = 1$ ,  $\eta = 1$ , высота трубы  $H = 35$  м; диаметр устья трубы  $D = 1,4$  м, скорость выхода выбрасываемой газовой смеси  $\omega_0 = 7$  м/с.

По обоим вариантам выполнено графическое построение функции  $C(x)$  с наложением результатов. Качественно кривые совпадают с рис. 4.

Результаты сравнения моделей по формулам ОНД-86 максимальная приземная концентрация  $C_m = 0,19$  мг/м<sup>3</sup>, по приближенным формулам  $C_m = 0,186$  мг/м<sup>3</sup> (погрешность 2,1%), по ОНД-86 расстояние до максимума приземной концентрации

$X_m = 430$  м, по приближенным формулам  $X_m = 413$  м (погр. 3,9%).

Для практических расчетов получена вполне приемлемая погрешность.

Приведенные ниже результаты исследования (рис. 1 и др.) получены для следующих исходных данных: расход выбросов смеси источником  $V_1 = 15$  м<sup>3</sup>/с, температура газовой смеси постоянна в течение года  $T_r = 125^\circ\text{C}$ , масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу  $M = 10$  г/с, скорость ветра  $U_b = 5$  м/с, диаметр устья источника  $D = 2$  м, высота трубы  $H_{var}$ , значения коэффициентов  $A = 200$ ,  $F = 1$ ,  $\eta = 1$ . Температура атмосферы, как видно из рис. 1, меняется в течение года от января ( $-50^\circ\text{C}$ ) до июня-июля ( $+40^\circ\text{C}$ ) и до декабря ( $-50^\circ\text{C}$ ), т.е по симметричному закону, положительный перепад между температурой выбросов и температурой атмосферы при указанных температурах равен соответственно  $165^\circ\text{C}$ ,  $85^\circ\text{C}$ ,  $165^\circ\text{C}$ .

На рис. 2 представлены годовые значения максимальной приземной концентрации для различных высот трубы. Из анализа рис. 2 следует, что максимум концентрации тем больше, чем меньше перепад температур (июнь-июль) и наоборот, — при большем перепаде максимум концентрации становится меньше. Уменьшение концентрации с увеличением высоты трубы закономерно,

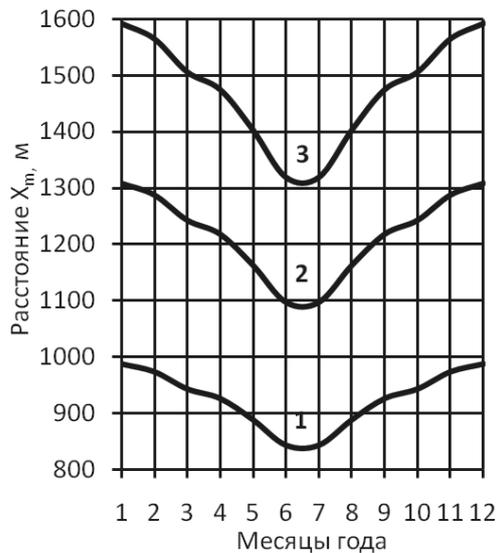


Рис. 3. Изменение расстояния от точки выброса до точки максимума приземной концентрации  $X_m$  в течение года для различных высот трубы ( $H$ ): 1 — 100 м, 2 — 150 м, 3 — 200 м

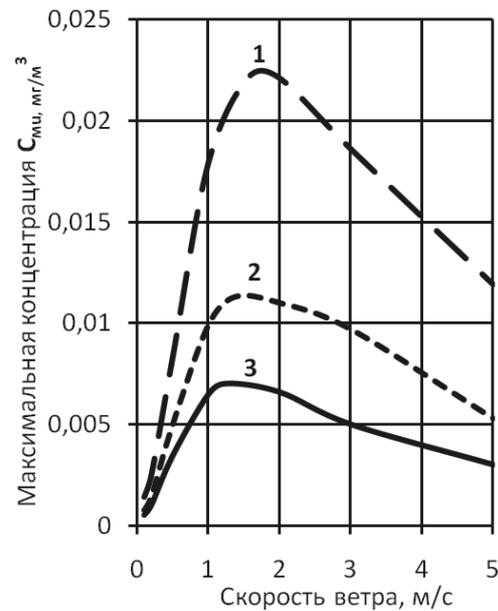


Рис. 4. Зависимость максимальной концентрации  $C_{mi}$  от скорости ветра, отличной от опасной, для различных высот трубы ( $H$ ): 1 — 100 м, 2 — 150 м, 3 — 200 м

т.к. падая с большей высоты, вредные вещества рассеиваются на большую площадь [2,3].

Уменьшение концентрации при увеличении температурного перепада объясняется тем, что смесь, будучи нагретой больше атмосферы, поднимается на большую высоту и, падая, рассеивается на большую площадь, концентрация примеси уменьшается.

Расстояние от источника выброса вредных веществ до точки максимума концентрации тем больше, чем больше перепад температур и чем выше источник выброса (рис. 3), т.к. при большем перепаде температур и большей высоте трубы смесь, падая с большей высоты и рассеиваясь на большую площадь, удаляется от трубы.

На рис. 4 представлены результаты исследования зависимости максимальной концентрации  $C_{mi}$  от скорости ветра, отличной от опасной, для различных высот трубы при исходных данных приведенных выше, но температура смеси —  $T_r = 125^\circ$  и температура атмосферного воздуха —  $T_b = 25^\circ\text{C}$  считаются постоянными. Здесь каждой скорости ветра  $U_B$  соответствует своя максимальная концентрация  $C_{mi}$ . Если скорость равна опасной скорости ветра  $U_B = U_m$  при которой достигается максимум приземной концентрации  $C_m$ , то кривая  $C_{mi}(U_B)$  (рис. 4) достигает своего максимума и  $C_{mi\max} = C_m$ .

Рис. 5 иллюстрирует зависимость расстояния от точки выброса до точки максимума концентрации вредного вещества в зависимости от скорости ветра. Данные, представленные на рис. 4 и 5 взаимно дополняют процессы, зависящие от скорости ветра. Рассмотрим в качестве примера результаты для высоты трубы 100 м. При скорости ветра 0,1 м/с расстояние до точки максимального загрязнения равно 2117 м, концентрация примеси равна 0,00139 мг/м<sup>3</sup>. При такой незначительной скорости воздушный поток имеет ламинарный характер, поэтому вредные выбросы относятся от трубы на значительное расстояние и рассеиваются на большую площадь, концентрация загрязнения при этом очень мала. При увеличении скорости ветра до 0,2 м/с расстояние до точки максимума концентрации возрастает до 2714 м, а концентрация увеличивается до 0,00248 мг/м<sup>3</sup>. При скорости ветра 0,2 м/с расстояние выбросов от трубы достигает максимума (2714 м), концентрация возрастает, т.к. вредные вещества при такой скорости ветра группируются на меньшей площади. Причем, этот максимум расстояния, величина которого может зависеть от высоты трубы, ее диаметра и скоростных режимов выхода смеси, достигается практически при одной скорости ветра

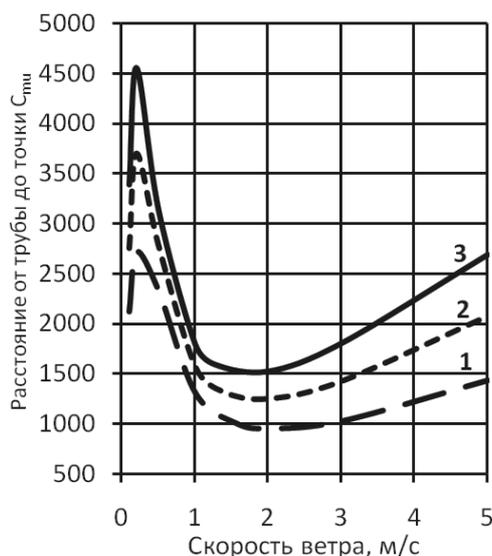


Рис. 5. Зависимость расстояния от источника выброса до максимума концентрации ( $C_{Mu}$ ) от скорости ветра, отличной от опасной, для различных высот трубы ( $H$ ): 1 — 100 м, 2 — 150 м, 3 — 200 м

0,2 м/с (рис. 5). Назовем ее «характерная скорость ветра».

При дальнейшем увеличении скорости ветра (более 0,2 м/с) концентрация возрастает (рис. 4) при уменьшении расстояния до максимума концентрации (рис. 5). Это происходит по следующей причине. По мере увеличении скорости ветра развивается процесс задувания [3], заключающийся в том, что давление за трубой в плоскости ветра становится меньше, чем давление перед трубой. Под действием перепада давления вредные вещества приближаются к трубе. Наконец, при скорости ветра, равной опасной, концентрация достигает максимума (рис. 4), а расстояние до этого максимума становится минимальным (рис. 5). В этом случае эффект от процесса задувания (притягивания вредных веществ к трубе) максимален.

На этапе возрастания скорости ветра выше опасной, т.е. после максимума концентрации (рис. 4) и минимума расстояния (рис. 5) кривая концентрации идет вниз, а расстояние до максимума концентрации возрастает. В этом случае прирост скорости ветра становится достаточным, чтобы не только компенсировать отрицательный эффект задувания, но и перекрыть его, т.е. интенсифицировать процесс рассеивания вредных примесей. В связи с этим вредные примеси в процессе увеличения скорости ветра отбрасываются на большее расстояние и рассеиваются на большей площади, что и снижает величину концентрации.

Приведенный метод расчета позволяет сократить количество уравнений и упростить процесс программирования и доводки программы, выполнять любые теоретические исследования, касающиеся выбросов вредных веществ одиночным промышленным источником.

На примерах расчетов установлено, что максимальная концентрация вредных веществ тем меньше, чем больше перепад между температурой выбросов вредных веществ и температурой атмосферного воздуха. Этот режим можно рекомендовать эксплуатационным организациям с целью снижения экологического давления на окружающую среду и человека.

С целью снижения максимальной приземной концентрации и увеличения расстояния до этого максимума промышленности и особенно коммунальным котельным, расположенным, как правило, в черте города, рекомендуется по возможности использовать большие перепады температур и трубы повышенной высоты.

### Литература

1. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 92 с.
2. Несолонов Г. Ф. Исследование влияния выбросов одиночного промышленного источника на атмосферный воздух в приземном слое: метод.

- указ. к лаб. раб. № 1. Самара: Изд-во Самарск. гос. аэрокосм. ун-та, 2004. 42 с.
3. *Ивлиев А. В., Морозов В. В., Сенина О. А., Шакиров Ф. М., Терентьев А. В.* Промышленная экология: метод. указ. для выполнения лабораторного практикума. Самара: Изд-во Самарск. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 100 с.
  4. *Терещенко А. В., Несолонов Г. Ф., Морозов В. В.* Оптимизация геометрических параметров одиночного источника выбросов: метод. указ. к лаб. раб. № 1. Самара: Изд-во Самарск. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. 12 с.
  5. *Терещенко А. В., Несолонов Г. Ф., Морозов В. В.* Влияние температуры атмосферного воздуха на параметры загрязнения атмосферы вредными веществами, выбрасываемыми промышленным источником // Экология и промышленность России. 2011. № 3. С. 23–25.
  6. *Квашнин И. М.* Предельно допустимые выбросы предприятия в атмосферу. Рассеивание и установление нормативов. М.: Техническая библиотека НИП «АВОК», 2008. 425 с.
  7. *Васильев П. П.* Практикум по безопасности жизнедеятельности человека, экологии и охране труда. М.: Финансы и статистика, 2004. 189 с.

Ключевые слова: высота источника выбросов, приземная концентрация, скорость ветра, перепад температуры, расстояние до максимума концентрации, аппроксимация уравнений.

---

Статья поступила 19 декабря 2011 г.

Самарский аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (национальный исследовательский университет), г. Самара

© Терещенко А. В., 2012