

Практическая работа №9

Расчет загрязнения атмосферы выбросами одиночного точечного источника

Область загрязнения приземного слоя атмосферы определяется типом источника и характером утечки, свойствами ингредиента, состоянием атмосферы и поверхности Земли и т. п. Различают точечные и линейные, наземные и высотные источники загрязнения. По продолжительности выброса загрязнения в атмосферу - мгновенные, стационарные и периодические. Состояние атмосферы характеризуется градиентом температуры воздуха по высоте, направлением и скоростью ветра, облачностью, уровнем фонового загрязнения и т. д. Указанные факторы в существенной мере определяют процесс рассеяния загрязнений в атмосферном воздухе. При большой скорости ветра подъем струи загрязнения над источником незначителен вследствие сноса его потоком воздуха. По мере уменьшения скорости ветра подъем струи возрастает.

3.2.1. Максимальное значение приземной концентрации вредных веществ

А. Нагретые выбросы

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества (ВВ) C_m при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_m от источника:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad \text{мг/м}^3 \quad (3.16)$$

где A – коэффициент, соответствующий неблагоприятным метеорологическим условиям, для Западной Сибири $A=200$;

M – мощность выброса ВВ, г/с;

H – высота источника выброса (трубы), м;

V_1 – расход газовой смеси, м³/с.

Мощность выброса M_i принимают по нормативам для данного производства, проектным данным или рассчитывают по формуле:

$$M_i = C_i \cdot V_1,$$

где C_i – концентрация ВВ в газовой смеси, г/м³.

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе:

- для газообразных ВВ и мелкодисперсных аэрозолей (пыль, зола и т.п., скорость упорядоченного оседания которых равна нулю) $F = 1$;
- для мелкодисперсных аэрозолей (кроме указанных в предыдущем пункте) при среднем коэффициенте очистки выбросов не менее 90

% F = 2; от 75 до 90 % F = 2,5; менее 75 % и при отсутствии очистки F = 3;

m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной местности $\eta = 1$;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_{Γ} и температурой окружающего атмосферного воздуха $T_{\text{В}}$, °C;

V_I – расход газовой смеси, м³/с.

m , n – определяются в зависимости от параметров:

$$f = 1000 \times \frac{\omega_o^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (3.17)$$

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_I \cdot \Delta T}{H}}, \quad (3.18)$$

$$v_M' = 1,3 \cdot \frac{\omega_o \times D}{H}, \quad (3.19)$$

$$f_e = 800 \cdot (v_M')^3. \quad (3.20)$$

Коэффициент m определяется в зависимости от f по формулам:

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

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f \geq 100. \quad (3.22)$$

Если $f_e < f < 100$, то m вычисляется при $f = f_e$.

Коэффициент n определяется в зависимости от v_M по формулам:

$$n = 1 \quad \text{при } v_M \geq 2; \quad (3.23)$$

$$n = 0,532v_M^2 - 2,13v_M + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq v_M < 2; \quad (3.24)$$

$$n = 4,4v_M \quad \text{при } v_M < 0,5. \quad (3.25)$$

Для нагретых выбросов $\Delta T > 0$ или $f < 100$.

Б. Холодные выбросы

$\Delta T \approx 0$ или $f \geq 100$, $v_M' \geq 0,5$.

При расчете C_M используется формула:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta}{H^{4/3}} \cdot K, \quad (3.26)$$

где

$$K = \frac{D}{8 \cdot V_I} = \frac{1}{7,1 \sqrt{\omega_o \cdot V_I}}, \quad \text{с/м}^2 \quad (3.27)$$

n – определяется по формулам (3.23) – (3.25) при $v_M = v_M'$.

3.2.2. Расстояние, на котором достигается максимальная концентрация вредных веществ

Расстояние X_m от источника выброса, на котором приземная концентрация C при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения C_m определяется по формуле:

$$X_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (3.28)$$

где d – безразмерный коэффициент:

$$\text{при } f < 100 \quad d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при } v_M \leq 0,5 \quad (3.29)$$

$$d = 4,95 \cdot v_M \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } 0,5 < v_M \leq 2 \quad (3.30)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_M} \cdot (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } v_M > 2; \quad (3.31)$$

$$\text{при } f > 100 \text{ или } \Delta T \approx 0: \quad d = 5,7 \quad \text{при } v_M' \leq 0,5 \quad (3.32)$$

$$d = 11,4 \cdot v_M \quad \text{при } 0,5 < v_M' \leq 2 \quad (3.33)$$

$$d = 16 \cdot \sqrt{v_M'} \quad \text{при } v_M' > 2. \quad (3.34)$$

3.2.3. Опасная скорость ветра

Опасная скорость ветра (примерно на высоте 10 м от земли), u_m (м/с), та, при которой достигается максимальная приземная концентрация вещества C_m :

$$\text{при } f < 100 \quad u_m = 0,5 \quad \text{при } v_M \leq 0,5 \quad (3.35)$$

$$u_m = v_M \quad \text{при } 0,5 < v_M \leq 2 \quad (3.36)$$

$$u_m = v_M (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \quad \text{при } v_M > 2 \quad (3.37)$$

$$\text{при } f > 100 \text{ или } \Delta T \approx 0 \quad u_m = 0,5 \quad \text{при } v_M' \leq 0,5 \quad (3.38)$$

$$u_m = v_M' \quad \text{при } 0,5 < v_M' \leq 2 \quad (3.39)$$

$$u_m = 2,2 \times v_M' \quad \text{при } v_M' > 2 \quad (3.40)$$

3.2.4. Максимальное значение приземной концентрации вредных веществ с учетом скорости ветра

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества C_{mu} (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра u (м/с), отличающейся от опасной скорости ветра u_m (м/с), определяется по формуле:

$$C_{mu} = r \cdot C_m, \quad (3.41)$$

где r – безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения u/u_m по формулам:

$$r = 0,67 \cdot \left(\frac{u}{u_M}\right) + 1,67 \cdot \left(\frac{u}{u_M}\right)^2 - 1,34 \cdot \left(\frac{u}{u_M}\right)^3 \quad \text{при} \quad \frac{u}{u_M} \leq 1; \quad (3.42)$$

$$r = \frac{3 \cdot \left(\frac{u}{u_M}\right)}{2 \cdot \left(\frac{u}{u_M}\right)^2 - \left(\frac{u}{u_M}\right) + 2} \quad \text{при} \quad \frac{u}{u_M} > 1. \quad (3.43)$$

П р и м е ч а н и е. При проведении расчетов не используются значения скорости ветра $u < 0,5$ м/с, а также скорости ветра $u > u^*$, где u^* - значение скорости ветра, превышаемое в данной местности в среднем многолетнем режиме в 5 % случаев.

3.2.5. Расстояние, на котором достигается максимальная концентрация вредных веществ с учетом скорости ветра

Расстояние от источника выброса $X_{му}$ (м), на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения $C_{му}$ (мг/м³), определяется по формуле:

$$X_{MU} = p \cdot X_M, \quad (3.44)$$

где p – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения u/u_M по формулам:

$$p = 3 \quad \text{при} \quad u/u_M \leq 0,25; \quad (3.45)$$

$$p = 8,43 \cdot \left(\frac{u}{u_M}\right) + 1 \quad \text{при} \quad 0,25 < u/u_M \leq 1; \quad (3.46)$$

$$p = 0,32 \cdot \left(\frac{u}{u_M}\right) + 0,68 \quad \text{при} \quad u/u_M > 1. \quad (3.47)$$

3.2.6. Приземная концентрация вредных веществ в атмосфере по оси факела выброса

При опасной скорости ветра приземная концентрация вредных веществ C в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях X от источника выброса определяется по формуле:

$$C = s_1 \cdot C_M, \quad \text{мг/м}^3 \quad (3.48)$$

где s_1 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения X/X_M и коэффициента F по формулам:

$$s_1 = 3 \cdot \left(\frac{X}{X_M}\right)^4 - 8 \cdot \left(\frac{X}{X_M}\right)^3 + 6 \cdot \left(\frac{X}{X_M}\right)^2 \quad \text{при} \quad X/X_M \leq 1; \quad (3.49)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (X/X_M)^2 + 1} \quad \text{при} \quad 1 < X/X_M \leq 8; \quad (3.50)$$

$$s_1 = \frac{X/X_M}{3,58 \cdot \left(\frac{X}{X_M}\right)^2 - 35,2 \cdot \left(\frac{X}{X_M}\right) + 120} \quad \text{при} \quad F \leq 1,5 \text{ и } X/X_M > 8; \quad (3.51)$$

$$s_1 = \frac{1}{0,1 \cdot \left(\frac{X}{X_M}\right)^2 + 2,47 \cdot \left(\frac{X}{X_M}\right) + 17,8} \quad \text{при} \quad F > 1,5 \text{ и } X/X_M > 8. \quad (3.52)$$

Для низких и наземных источников (высотой H не более 10 м) при значениях $X/X_M < 1$ величина s_1 в (3.48) заменяется на величину s_1^H , определяемую в зависимости от X/X_M и H по формуле:

$$s_1^H = 0,125 \cdot (0 - H) \} 0,125 \cdot (H - 2) \} s_1 \quad \text{при } 2 \leq H < 10. \quad (3.53)$$

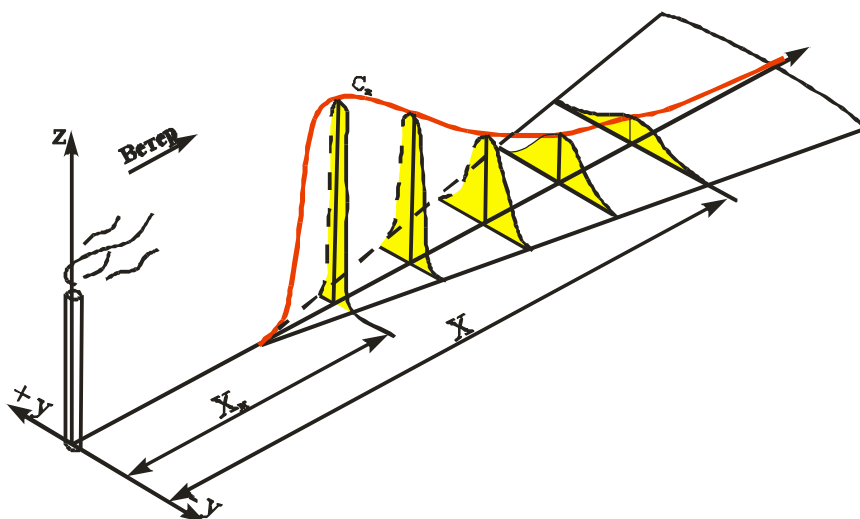


Рис. 3.2. Схема рассеяния вредного вещества в приземном слое атмосферы

Примечание. Аналогично определяется значение концентрации вредных веществ на различных расстояниях по оси факела при других значениях скоростей ветра и неблагоприятных метеорологических условиях.

3.2.7. Приземная концентрация вредных веществ в атмосфере по перпендикуляру к оси факела выброса

Значение приземной концентрации вредных веществ в атмосфере C_y на расстоянии Y по перпендикуляру к оси факела выброса определяется по формуле:

$$C_y = s_2 \cdot C, \quad \text{мг/м}^3 \quad (3.54)$$

где s_2 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от скорости ветра u (м/с) и отношения Y/X по значению аргумента t_y :

$$t_y = \frac{u \cdot Y^2}{X^2} \quad \text{при } u \leq 5; \quad (3.55)$$

$$t_y = \frac{5 \cdot Y^2}{X^2} \quad \text{при } u > 5; \quad (3.56)$$

по формуле:

$$s_2 = \frac{1}{(+5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4)^2}. \quad (3.57)$$

Пример 3.2. Определить максимальное значение приземной концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) C_M , мг/м³, при выбросе газозадушной смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем и расстояние X_M , м, на котором она достигается при неблагоприятных метеорологических условиях. Сравнить C_M с ПДК.

Исходные данные. Источником загрязнения атмосферы (ИЗА) является дымовая труба котельной для технологических нужд в г. Пензе.

Источник имеет следующие параметры: высота $H = 30$ м, диаметр устья $D = 1$ м, скорость выхода газовой смеси из устья $\omega_0 = 7,06$ м/с, расход газовой смеси $V_1 = 5,51$ м³/с, температура $T_r = 160$ °С. Массовый выброс диоксида азота $M = 4,1$ г/с и оксида углерода $M = 11,4$ г/с. Местность ровная.

Решение.

Величина C_m определяется по формуле (3.16). Коэффициент A для г. Пензы равен 160. Коэффициент $F=1$ для газообразных ЗВ. Котельная предназначена для технологических нужд (не отопительная), т.е. нагрузка на котлы и массовые выбросы ЗВ одинаковы в теплый и холодный периоды года. Поэтому принимаем температуру наружного воздуха для наиболее невыгодного случая (в теплый период) равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца по СНиП 2.01.01-82 $T_B = 25,3$ °С. Тогда $\Delta T = T_r - T_B = (160-25,3) = 134,7$ °С. Для ровной местности коэффициент, учитывающий влияние рельефа, $\eta = 1$. Для определения коэффициентов m и n необходимо рассчитать параметры f , v_m , v_m' и f_e по формулам (3.17) – (3.20) соответственно:

$$f = \frac{1000 \cdot 0,6^2 \cdot 1}{30^2 \cdot 134,7} = 0,411,$$

$$v_m = 0,65 \cdot \left(\frac{6,54 \cdot 134,7}{30} \right)^{1/3} = 1,9,$$

$$v_m' = \frac{1,3 \cdot 7,06 \cdot 1}{30} = 0,306,$$

$$f_e = 800 \cdot 0,306^3 = 22,9.$$

Коэффициент m определяется по формуле (3.21):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot 0,411^{1/2} + 0,34 \cdot 0,411^{1/3}} = 0,987.$$

Коэффициент n определяется по формуле (3.24):

$$n = 0,532 \cdot 1,9^2 - 2,13 \cdot 1,9 + 3,13 = 1,003.$$

Тогда для диоксида азота:

$$C_M = \frac{160 \cdot 4,1 \cdot 1 \cdot 0,987 \cdot 1,003 \cdot 1}{30^2 \cdot 6,54 \cdot 134,7^{1/3}} = 0,0796 \text{ мг/м}^3.$$

Для оксида углерода:

$$C_M = \frac{160 \cdot 11,4 \cdot 1 \cdot 0,987 \cdot 1,003 \cdot 1}{30^2 \cdot 6,54 \cdot 134,7^{1/3}} = 0,221 \text{ мг/м}^3.$$

ПДК для диоксида азота и оксида углерода соответственно равны 0,085 и 5 мг/м³, следовательно, $C_m < \text{ПДК}$ для обоих веществ (без учета фоновых концентраций и других ИЗА, выбрасывающих эти же ЗВ).

Величину X_m определяем по формуле (3.28), где безразмерный коэффициент d по зависимости (3.30) равен:

$$d = 4,95 \cdot 1,9 \cdot \left(+ 0,28 \cdot \left(0,411 \right)^3 \right) = 11,36.$$

Тогда

$$X_m = \left(\frac{6-1}{4} \right) \cdot 11,36 \cdot 30 = 341 \text{ м}.$$

Значения C_m и X_m определены по формуле (3.36) для опасной скорости ветра $u_m = v_m = 1,9$ м/с.

Пример 3.3. Определить приземную концентрацию ЗВ в атмосфере C , мг/м³, по оси факела выброса на различных расстояниях X , м, от источника загрязнения атмосферы (ИЗА) при опасной скорости ветра, u_m , м/с. Построить график распределения концентраций $C = f(X)$.

Исходные данные принять из примера 3.2 для оксида углерода: $C_m = 0,221$ мг/м³, $X_m = 341$ м, $u_m = 1,9$ м/с.

Решение.

Величина C определяется по формуле (3.48), где s_1 рассчитывается в зависимости от отношения X/X_m по формулам (3.49) и (3.50).

Зададимся интервалами значений X : 50 м при $X/X_m < 1$ и 200 м при $X/X_m > 1$.

Для $X=50$ м коэффициент s_1 по формуле (3.49) равен:

$$s_1 = 3 \cdot (50/341)^4 - 8 \cdot (50/341)^3 + 6 \cdot (50/341)^2 = 0,105.$$

Тогда по формуле (3.48):

$$C = 0,105 \cdot 0,221 = 0,0232 \text{ мг/м}^3.$$

Для $X = 400$ м коэффициент s_1 по формуле (3.50) равен:

$$s_1 = 1,13 / (0,13 \cdot (400/341)^2 + 1) = 0,959.$$

Тогда по формуле (3.48) для $X = 400$ м:

$$C = 0,959 \cdot 0,221 = 0,212 \text{ мг/м}^3.$$

Для остальных значений X результаты расчетов концентраций представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Расчет концентраций загрязняющего вещества по оси факела выброса

X , м	X/X_m	s_1	C , мг/м ³
50	0,147	0,105	0,0232
100	0,293	0,33	0,073
150	0,44	0,593	0,131
200	0,587	0,804	0,178
250	0,733	0,941	0,208
300	0,880	0,995	0,22
341	1	1	0,221
400	1,173	0,959	0,212
600	1,76	0,806	0,178
800	2,35	0,659	0,146
1000	2,93	0,534	0,118

1200	3,52	0,433	0,0957
------	------	-------	--------

На основании данных табл. 3.3 строим графическую зависимость $C = f(X)$, (рис.3.3).

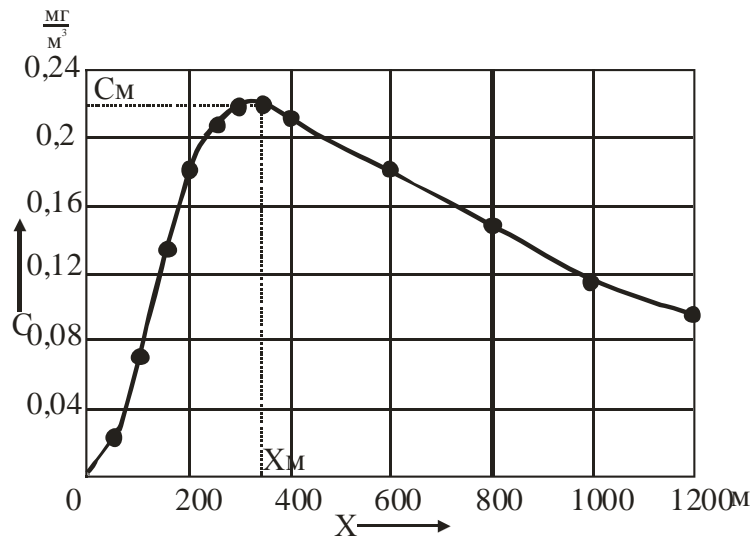


Рис. 3.3. Рассеяние вредного вещества в атмосфере по оси факела выброса

Пример 3.4. Определить приземную концентрацию ЗВ в атмосфере C_y по перпендикуляру к оси факела выброса на различных расстояниях Y от точки $X = X_M$ при опасной скорости ветра u_M . Построить график распределения концентраций $C_y = f(Y)$.

Исходные данные принять из примера 3.2 для оксида углерода: $C = C_M = 0,221 \text{ мг/м}^3$, $X = X_M = 341 \text{ м}$, $u = u_M = 1,9 \text{ м/с}$.

Решение.

Величина C_y определяется по формуле (3.54), где коэффициент s_2 определяется по формуле (3.57) в зависимости от аргумента t_y , рассчитываемого по уравнению (3.55).

Задаемся интервалами значений Y . Для $Y = 20 \text{ м}$

$$t_y = \frac{1,9 \cdot 20^2}{341^2} = 0,00654,$$

$$s_2 = \frac{1}{\sqrt{+ 5 \cdot 0,00654 + 12,8 \cdot 0,00654^2 + 17 \cdot 0,00654^3 + 45,1 \cdot 0,00654^4}} = 0,968,$$

$$C_y = 0,968 \cdot 0,221 = 0,214 \text{ мг/м}^3.$$

Для остальных значений Y результаты расчетов представлены в табл. 3.4. На основании данных табл. 3.4 строим графическую зависимость $C_y = f(Y)$, (рис. 3.4).

Таблица 3.4

Расчет концентраций загрязняющего вещества перпендикулярно оси факела выброса

$Y, \text{ м}$	t_y	s_2	C_y
0	0	1	0,221
20	0,00654	0,968	0,214
40	0,0261	0,77	0,17
60	0,0588	0,555	0,117
80	0,105	0,351	0,077
100	0,163	0,495	0,043

Пример 3.5. Построить поле (изолинии) концентраций ЗВ от одиночного точечного источника в приземном слое атмосферы. Исходные данные принять из примеров 3.2 - 3.4.

Решение.

Величина $C_M = 0,221 \text{ мг/м}^3$ при $X_M = 341 \text{ м}$. Значения расчетных изолиний концентраций примем $0,1; 0,15; 0,2 \text{ мг/м}^3$.

Координаты X и Y для этих концентраций примем непосредственно из графиков в примерах 3.3 и 3.4 (рис. 3.3 и 3.4). Полученные данные приведены в табл. 3.5. В ней 6 точек приняты из примера 3.3 для значений концентраций вдоль оси факела, т.е. при $Y = 0$. Другие 6 точек приняты из примера 3.4 для значений концентраций перпендикулярно оси факела при фиксированном $X = 341 \text{ м}$.

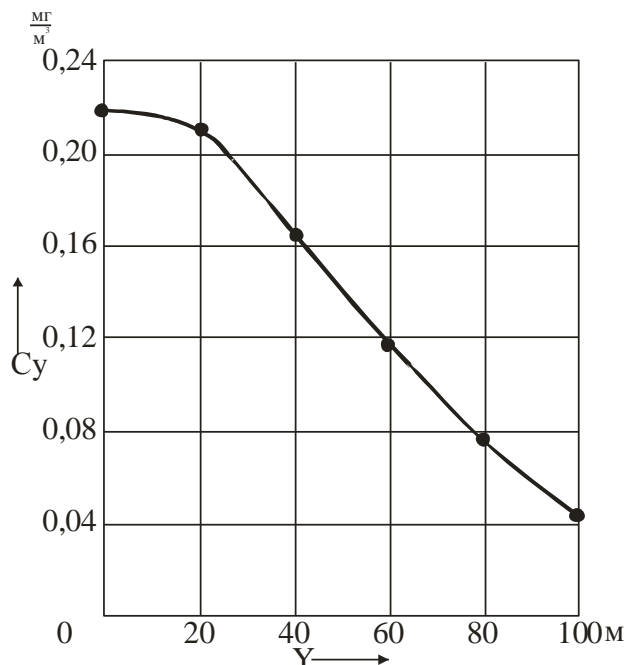


Рис. 3.4. Приземная концентрация ВВ в атмосфере по перпендикуляру к оси факела выброса (сечение в точке $X=X_M$)

Непосредственно из рис. 3.4 получены только три точки по одну сторону оси X . По другую сторону оси X концентрации будут такими же, т.к. факел рассеивания симметричен этой оси. Поэтому для оставшихся трех точек координату Y примем со знаком "-".

Таблица 3.5

Координаты точек изолиний концентраций

Значения концентраций, мг/м ³	№ точки	Координаты, м	
		X	Y
0,1	1	120	0
	2	1100	0
	3	341	68
	4	341	-68
0,15	5	165	0
	6	775	0
	7	341	47
	8	341	-47
0,2	9	235	0
	10	465	0
	11	341	27
	12	341	-27

Поле изолиний концентраций приведено на рис. 3.5.

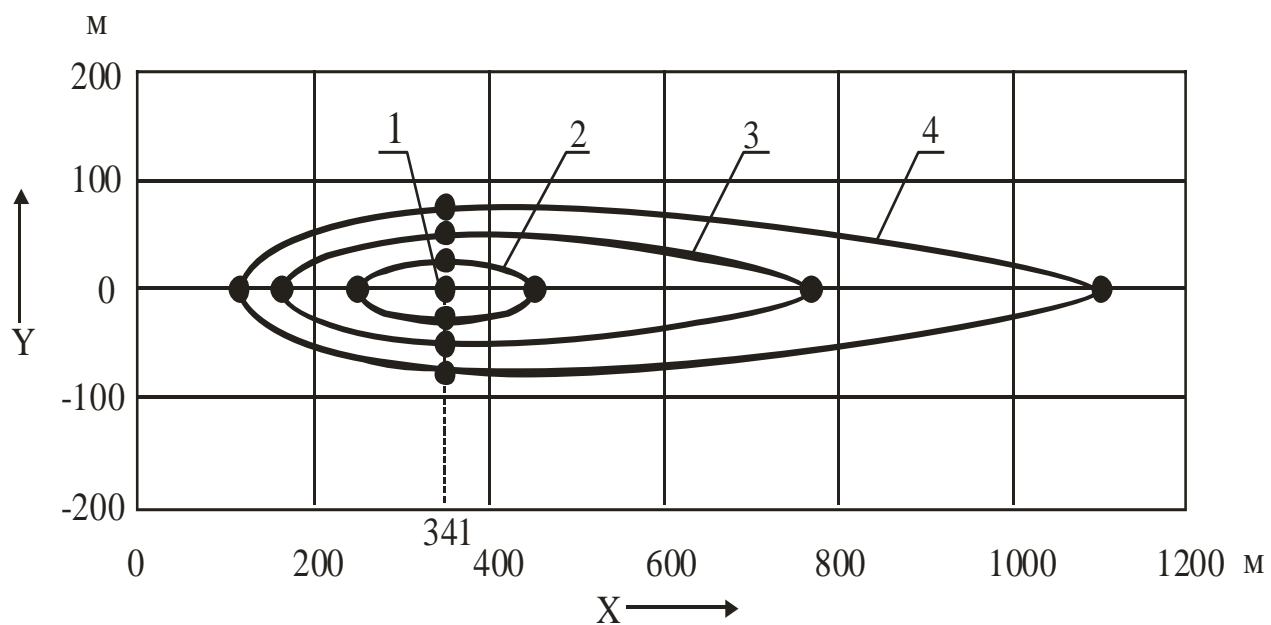


Рис. 3.5. Поле изолиний концентраций вредного вещества