

Копченова Дарья Михайловна, Студент,
Санкт-Петербургский Горный Университет
императрицы Екатерины II

Шишов Сергей Алексеевич, Студент,
Санкт-Петербургский Горный Университет
императрицы Екатерины II

РАСЧЁТ РАССЕИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЫБРОСЕ ИЗ ОДИНОЧНОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА

Аннотация. В данной статье выполнен расчёт рассеивания загрязняющих веществ от одиночного точечного источника (трубы) для города Сочи. Определены максимальные приземные концентрации оксида углерода и неорганической пыли, расстояния их достижения, опасная скорость ветра и нормативы предельно допустимых выбросов.

Ключевые слова: Рассеивание загрязняющих веществ, точечный источник, приземная концентрация, ПДВ, ПДК, горячий выброс.

Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха является одной из важнейших задач экологического мониторинга и нормирования техногенной нагрузки на окружающую среду. Для промышленных предприятий, имеющих организованные источники выбросов, ключевым этапом природоохранной деятельности является расчёт рассеивания загрязняющих веществ и установление нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ).

В данной статье выполнен расчёт рассеивания загрязняющих веществ от одиночного точечного источника – трубы промышленного предприятия, расположенного в городе Сочи. Расчёт проведён для двух загрязняющих веществ: оксида углерода (СО) и неорганической пыли, содержащей SiO_2 менее 20 %. Определены максимальные приземные концентрации, расстояния их достижения, опасная скорость ветра и значения ПДВ.

Расчёт выполнен для точечного источника с параметрами, представленными в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

Масса выбросов СО М, г/с	30
Масса выбросов пыли неорганической, содержащая SiO_2 <20% М, г/с	51
Высота трубы Н, м	41
Диаметр устья трубы D, м	2,8
Скорость выхода ГВС W_0 , м/с	2,5
Температура выбрасываемой в атмосферу ГВС, °С	172
Город	Сочи
Температура самого жаркого месяца	27,6
Степень очистки ГВС от твердых взвешенных веществ, %	64
Фоновые концентрации, %	0,04ПДК _{сс}

Расчёт выполнен в соответствии с общепринятой методикой определения приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от организованных источников выбросов.



Необходимо рассчитать два коэффициента по следующим формулам:

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (1)$$

$$v'_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 D}{H}, \quad (2)$$

где H – высота от источника выбросов до поверхности земли; ω_0 – скорость выхода газа из трубы; D – диаметр источника выброса; ΔT – разность температур ГВС и воздуха.

Для этого необходимо рассчитать скорость выхода газа из трубы, его можно выразить из формулы выбрасывания ГВС в единицу времени:

$$V_l = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0 = \frac{3,14 \cdot 2,8^2}{4} \cdot 2,5 = 15,39 \left(\frac{м^3}{с} \right) \quad (3)$$

Тогда:

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T} = 1000 \cdot \frac{2,5^2 \cdot 2,8}{41^2 \cdot (172 - 27,6)} = 0,072$$

$$v'_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 D}{H} = 1,3 \cdot \frac{2,5 \cdot 2,8}{41} = 0,22$$

Так как $f < 100$ и $v'_m > 0,5$ можно сделать вывод что источник горячий.

Далее идет расчет максимального значения приземной концентрации загрязняющего вещества.

Для горячих источников формула будет иметь вид:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}, \left(\frac{г}{см^3} \right) \quad (4)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (определяется по таблице 2); M – интенсивность выброса загрязняющих веществ; F – коэффициент, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в атмосфере (определяется по таблице 3); m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода ГВС из источника; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (для ровной местности принимается равным 1).

Поскольку $f < 100$ формула для вычисления m будет иметь следующий вид:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,072} + 0,34\sqrt[3]{0,072}} = 1,193 \quad (5)$$

Так как n зависит от коэффициента v'_m нужно найти его по формуле:

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_l \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{15,39 \cdot (172 - 27,6)}{41}} = 2,46 \quad (6)$$

Поскольку $v_m > 2$, значение коэффициента n вычисляется по формуле:

$$n = 1$$

Таблица 2

Значение коэффициента А

Географические районы РФ	А
Читинская область, Бурятия	250
Для районов РФ южнее 50° с.ш.; для Нижнего Поволжья, Кавказа; для азиатской территории РФ, Дальнего Востока, остальной территории Сибири	200
Для Европейской территории (ЕТ) РФ и Урала от 50° до 52° с.ш. (за исключение центра ЕТ)	180



Для Европейской территории (ЕТ) РФ и Урала севернее 52° с.ш. (за исключение центра ЕТ)	160
Московская, Тульская, Рязанская, Владимирская, Калужская, Ивановская области	140

Исходя из данных таблицы в городе Сочи коэффициент А будет равен 200.

Таблица 3

Значение коэффициента F	
Наименование	F
Газы, мелкодисперсные аэрозоли (пыли, золы и т.п.), скорость упорядоченного оседания которых практически равна 0	0
Мелкодисперсные аэрозоли (кроме вышеуказанных) при коэффициенте очистки:	
не менее 90%	2
от 75% до 90%	2,5
менее 75%	3
при отсутствии очистки	3

Максимальная приземная концентрация для пыли будет рассчитываться по формуле (с учетом того, что F=3 по таблице, т.к. степень очистки ГВС от твердых взвешенных веществ 64%):

$$C_m(\text{пыли}) = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot t \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}} = \frac{200 \cdot 51 \cdot 3 \cdot 1,193 \cdot 1 \cdot 1}{41^2 \cdot \sqrt[3]{15,39 \cdot (172 - 27,6)}} = 1,66 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right)$$

Максимальная приземная концентрация для CO будет рассчитываться по формуле (с учетом того, что F=1 по таблице):

$$C_m(\text{CO}) = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot t \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}} = \frac{200 \cdot 30 \cdot 1 \cdot 1,193 \cdot 1 \cdot 1}{41^2 \cdot \sqrt[3]{15,39 \cdot (172 - 27,6)}} = 0,33 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right)$$

Далее рассчитывается расстояние от источника выброса, на котором приземная концентрация достигает максимального значения определяется по формуле:

$$x_m = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H \quad (7)$$

Коэффициент d будет определяться по формуле, так как $f < 100$ и $v_m > 2$:

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) \quad (8)$$

Для его нахождения нужно вычислить значение коэффициента f_e :

$$f_e = 800 \cdot (v'_m)^3 = 800 \cdot 0,22^3 = 8,56 \quad (9)$$

Тогда:

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) = 7 \cdot \sqrt{2,46} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{8,56}) = 17,27$$

Расстояние от источника выброса, на котором приземная концентрация достигает максимального значения для двух веществ будет равна:

$$x_m(\text{CO}) = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H = \frac{5 - 1}{4} \cdot 17,27 \cdot 41 = 708,07 \text{ (м)}$$

$$x_m(\text{пыль}) = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H = \frac{5 - 3}{4} \cdot 17,27 \cdot 41 = 354,04 \text{ (м)}$$



Далее расчет опасной скорости на уровне флюгера, на которой достигается максимальное значение приземной концентрации вредных веществ, при учете что $f < 100$ и $v_m > 2$ равна:

$$u_m = v_m \cdot (1 + 0,12\sqrt{f}) = 2,46 \cdot (1 + 0,12\sqrt{0,072}) = 2,54 \left(\frac{м}{с}\right) \quad (10)$$

Далее следует рассчитать НДВ:

Для определения нормативно допустимых выбросов необходимы значения предельно допустимых концентраций. Возьмем их из СанПиНа 1.2.3685-21.

$$ПДК_{cc}^{CO} = 3 \left(\frac{мг}{м^3}\right) \quad (11)$$

$$ПДК_{cc}^{пыль} = 0,15 \left(\frac{мг}{м^3}\right) \quad (12)$$

$$НДВ_i = \frac{(ПДК - C_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}, \left(\frac{г}{с}\right) \quad (13)$$

$$НДВ_{CO} = \frac{(ПДК - C_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T} = \frac{(3 - 3 \cdot 0,04) \cdot 41^2}{200 \cdot 1 \cdot 1,193 \cdot 1 \cdot 1} \sqrt[3]{15,39 \cdot 144,4} = 264,78 \left(\frac{г}{с}\right)$$

$$НДВ_{пыль} = \frac{(ПДК - C_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T} = \frac{(0,15 - 0,15 \cdot 0,04) \cdot 41^2}{200 \cdot 3 \cdot 1,193 \cdot 1 \cdot 1} \sqrt[3]{15,39 \cdot 144,4} = 4,41 \left(\frac{г}{с}\right)$$

Вывод: выполнен расчёт рассеивания загрязняющих веществ от одиночного точечного источника. Установлено, что источник является горячим. Максимальные приземные концентрации для СО и неорганической пыли составили 0,33 и 1,66 мг/м³, расстояния их достижения – 708,07 и 354,04 м, опасная скорость ветра – 2,54 м/с. Нормативы ПДВ определены на уровне 264,78 г/с для СО и 4,41 г/с для пыли. Фактические выбросы СО (30 г/с) не превышают ПДВ, тогда как выбросы пыли (51 г/с) существенно превышают норматив, что обусловлено недостаточной эффективностью очистки (64 %). Результаты могут быть использованы при разработке проектов ПДВ, обосновании СЗЗ и планировании природоохранных мероприятий.

Список литературы:

1. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М., 2021.
2. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
3. РД 52.04.212-86. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: утв. Госкомгидрометом СССР 04.08.1986. – М., 1986.

