

Цель занятия: изучить методики расчета приземной концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ от одного источника

Общие положения.

Когда отходящие газы покидают дымовую трубу и поступают в атмосферу, они начинают воздействовать на внешние условия – метеорологические условия (давление, температура, скорость и направление движения воздуха), расположение предприятий и источников выбросов, характер местности, физические и химические свойства выбрасываемых в.в. и т.п. (рис. 1). Все эти факторы влияют на распространение дыма от дымовой трубы и перенос загрязняющих веществ на дальние расстояния. Горизонтальное перемещение примесей определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное – распределением температур в вертикальном направлении.

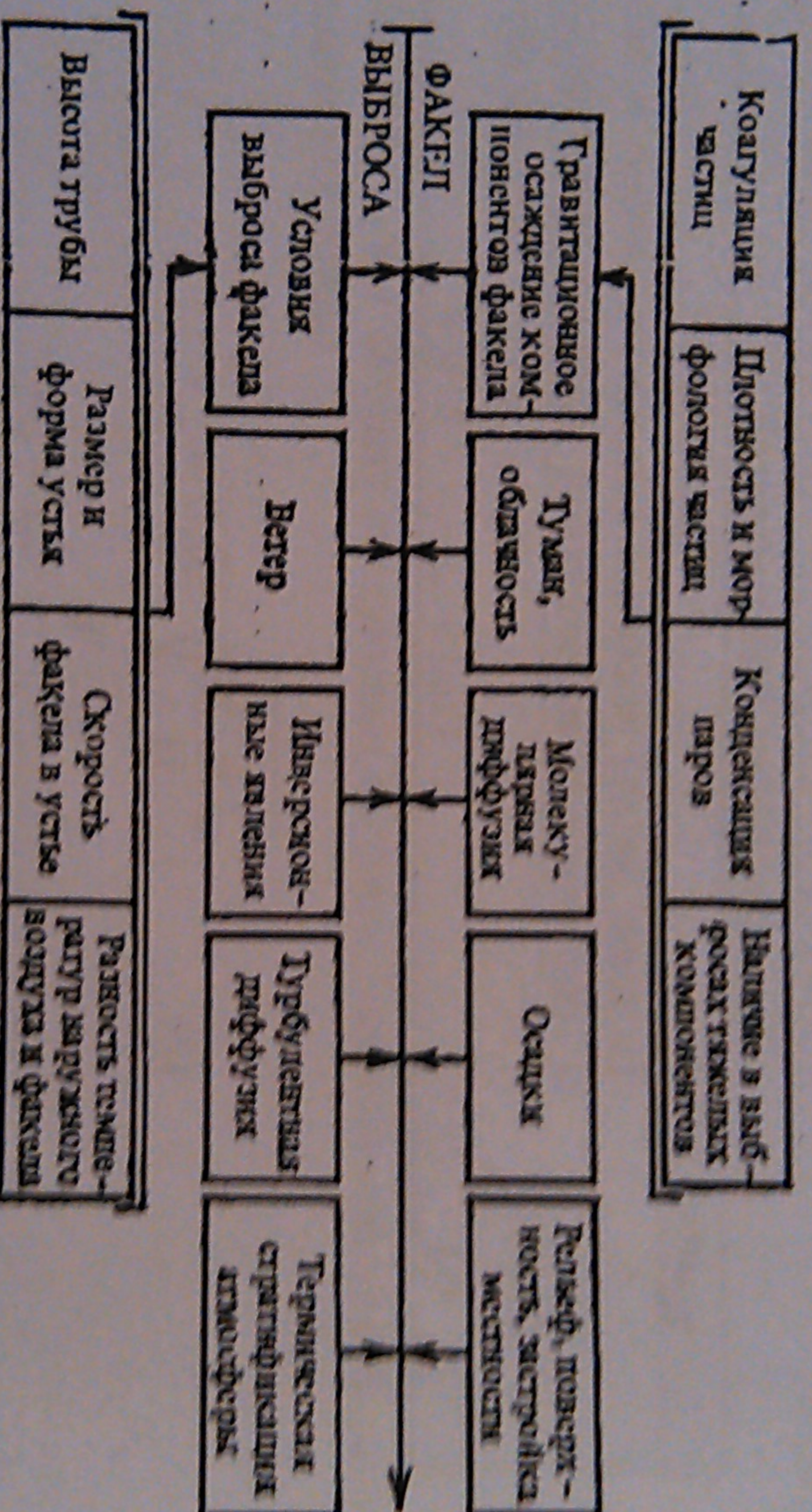


Рис. 1. Схема факторов, влияющих на рассеивание выбросов

Прогнозирование поведения факела в атмосфере – крайне сложная физико-математическая задача, решение которой затрудняется еще и тем, что в атмосфере процессы нестабильны и могут очень быстро изменяться во времени.

В зависимости от атмосферных условий внешний вид факела может отличаться самым большим разнообразием. Он может выглядеть как вертикальный столб над трубой, тянущаяся компактной струей в горизонтальном направлении (рис. 2), быстро размываться в горизонтальном, вертикальном или обоих направлениях и т.д.

Основной эффект рассеивания достигается за счет молекулярной и турбулентной диффузии, обеспечивающих одинаковое течение процесса переноса тепла, вредных газов, мелких аэрозолей, водяных паров и т.д. Роль молекулярной диффузии в рассеивании пренебрежительно мала; основную роль играет турбулентная диффузия.

Выброс вредных веществ в атмосферу должен производиться таким образом, чтобы загрязнение воздушной среды в приземном слое не превышало максимально разовой предельно допустимой концентрации. Расчет приземных концентраций загрязняющих веществ производится в соответствии с "Методикой расчета концен-

траций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий" ОНД - 86. Максимальная приземная концентрация C_m возникает на некотором расстоянии от источника выбросов (рис.2).

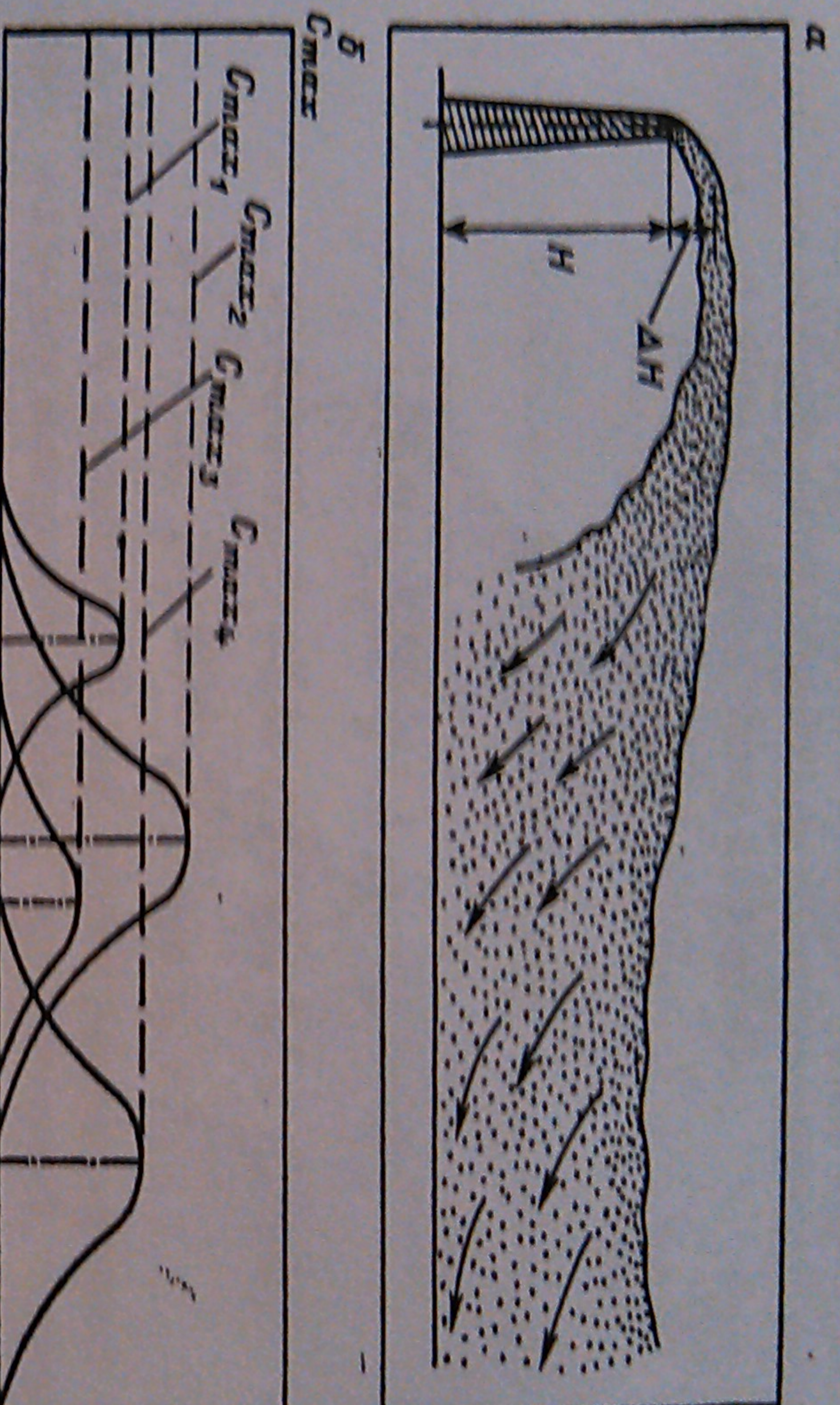


Рис.2. Рассеивание и осаждение выбросов: а – общая картина; б – различия в расположении зон максимальной приземной концентрации отдельных компонентов выбросов

Максимальная приземная концентрация вредного вещества C_m ($\text{мг}/\text{м}^3$), создаваемого данным источником при горячих выбросах ($\Delta T \gg 0$), определяется из выражения

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{Q \cdot \Delta T}}, \quad (1)$$

Для источников, температура которых мало отличается от температуры воздуха ($\Delta T \approx 0$), используется выражение

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot D \cdot \eta}{H^{4/3} \cdot 8 \cdot Q}, \quad (2)$$

где H – высота трубы, м; Q – полный расход выбрасываемых газов на срезе трубы, $\text{м}^3/\text{с}$; M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; A – климатический коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; F – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника; D – диаметр устья трубы, м; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, и в случае ровной или слабопересеченной местности, с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta=1$; ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовоздушной смеси и температурой окружающего воздуха T_a .

При определении ΔT следует принимать температуру окружающего атмосферно-

го воздуха равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца (для Курска 22,9°C).

Значение T_e принимается по СНиП 2.01.01-82, а в случае их отсутствия запрашивается в управлении Ростгидромета.

Значение коэффициента A , учитывающего рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, т.е. когда концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается из таблицы:

Климатическая зона	Коэффициент A
Нижнее Поволжье, Кавказ, Сибирь, Дальний Восток	200
Север и Северо-Запад Европейской территории РФ	160
Центральная часть Европейской территории РФ от 50 до 52° с.ш.	180

Курск расположен на 51,8° с.ш.

Значение коэффициента F принимается по таблице 1.

Таблица 1

Вещества	Безразмерный коэффициент F	Коэффициент F
Газообразные и мелкодисперсные аэрозоли (пыль, зола и т.п., скорость оседания которых практически равна нулю)		1
Аэрозоли, для которых: $v_g/u_m < 0,015$ $0,015 < v_g/u_m < 0,03$		1 1,5

Коэффициенты m и n находят следующим образом. Первоначально определяют вспомогательные величины:

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q \cdot \Delta T}{H}}; \quad (3)$$

$$v'_m = 1,3 \cdot \frac{W_2 \cdot D}{H}; \quad (4)$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_m)^3; \quad (5)$$

$$f = 1000 \cdot \frac{W_2^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (6)$$

где W_2 – средняя скорость выхода газовоздушной смеси из устья трубы:

$$W_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}.$$

Коэффициент m определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100; \quad (7)$$

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

В случае $f_e < f < 100$, коэффициент m вычисляется при $f = f_e$.

Коэффициент n вычисляется по формулам

При $v_m < 0,5$

$$n = 4,4 \cdot v_m; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{при } 0,5 \leq v_m < 2,0 \quad n &= 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \\ \text{при } v_m \geq 2,0 \quad n &= 1,0. \end{aligned} \quad (10)$$

Расстояние x_m (м) от источника выбросов до точки, в которой приземная концентрация C (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения C_m , определяется по формуле

$$x_m = \frac{5-F}{4} \cdot H \cdot d, \quad (12)$$

где безразмерный коэффициент d для горячих источников ($f < 100$) находится по формулам:

$$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при } v_m \leq 0,5; \quad (13)$$

$$d = 4,95 \cdot v_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } 0,5 < v_m \leq 2; \quad (14)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad \text{при } v_m > 2. \quad (15)$$

Как показывают исследования, при прочих равных условиях приземная концентрация достигает своего максимума C_m при некоторой, получившей название *опасной* скорости ветра u_m . Поскольку с высотой скорость ветра увеличивается, принято измерять ее на отметке 10 м.

Опасная скорость ветра для горячих источников подсчитывается по формулам

$$u_m = 0,5 \quad \text{при } v_m \leq 0,5; \quad (19)$$

$$u_m = v_m \quad \text{при } 0,5 < v_m < 2; \quad (20)$$

$$u_m = v_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \quad \text{при } v_m \geq 2. \quad (21)$$

Таким образом концентрации, посчитанные по формулам (1) и (2), представляют собой координатные максимумы, наблюдаемые под осью факела на расстоянии X_m от источника при опасной скорости ветра и при отсутствии фоновой концентрации $C_{\text{фонов}}$. Дальше и ближе X_m , а также при удалении от оси концентрации вредного вещества падает.

Общее содержание вредного вещества в воздухе определяется из выражения

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{фонов}} + C_m \quad (25)$$

Уровень максимальной концентрации C_m снижается, а координата его смещается при скоростях ветра, отличной от опасной. Максимальное значение приземной концентрации C_m при неблагоприятных метеорологических и скорости ветра u (м/с), отличающейся от опасной скорости ветра, определяется по формуле:

$$C_m = r \cdot C_m, \quad (26)$$

где r — безразмерная величина, определяемая по формулам

$$r = 0,67 \cdot \left(\frac{u}{u_m} \right)^2 + 1,67 \cdot \left(\frac{u}{u_m} \right)^2 - 1,34 \cdot \left(\frac{u}{u_m} \right)^3 \quad \text{при } u/u_m \leq 1; \quad (27)$$

$$r = \frac{3 \cdot \left(\frac{u}{u_m} \right)}{2 \cdot \left(\frac{u}{u_m} \right)^2 - \left(\frac{u}{u_m} \right) + 2} \quad \text{при } u/u_m > 1. \quad (28)$$

При проведении расчетов не используются значения скорости ветра менее 0,5 м/с.

Отход от опасной скорости ветра, кроме изменения уровня максимальной концентрации, изменяет и их расстояние:

$$x_{\text{мн}} = P \cdot x_{\text{м}}, \quad (29)$$

где P – безразмерный коэффициент, определяемый по формуле:

$$P = 3 \text{ при } w/u_{\text{м}} \leq 0,25; \quad (30)$$

$$P = 8,43 (1 - w/u_{\text{м}})^5 + 1 \text{ при } 0,25 < w/u_{\text{м}} \leq 1; \quad (31)$$

$$P = 0,32 w/u_{\text{м}} + 0,68 \text{ при } w/u_{\text{м}} > 1. \quad (32)$$

ПДК вредных веществ в воздухе населенных мест

Таблица 2

Вредное вещество	Формула	ПДК _{ср} , мг/м ³
Оксись углерода	CO	5,0
Двуокись азота	NO ₂	0,085
Двуокись серы	SO ₂	0,5

Задача: рассчитать наибольшую концентрацию вредных веществ в атмосферном воздухе на территории, прилегающей к промышленному предприятию при опасной скорости ветра и при скорости ветра 1,5 м/с. Определить расстояния, на которых наблюдаются максимальные концентрации. Сравнив максимальную концентрацию с ПДК_{ср} (табл. 2), дать оценку загрязнения воздуха.

Исходные данные: предприятие выбрасывает в атмосферу из одиночного, точечного, с круглым устьем источника нагретую газовоздушную смесь.

Расход газовоздушной смеси, Q , м ³ /с	5,2
Температура выбрасываемой смеси T , град	60
Высота трубы H , м	50
Фоновая концентрация вредного вещества в приземном слое $C_{\text{фон}}$, мг/м ³	1,1
Вредное вещество, выбрасываемое из трубы	CO
Масса выбрасываемого вредного вещества M , г/с	4,6
Диаметр устья трубы D , м	0,8