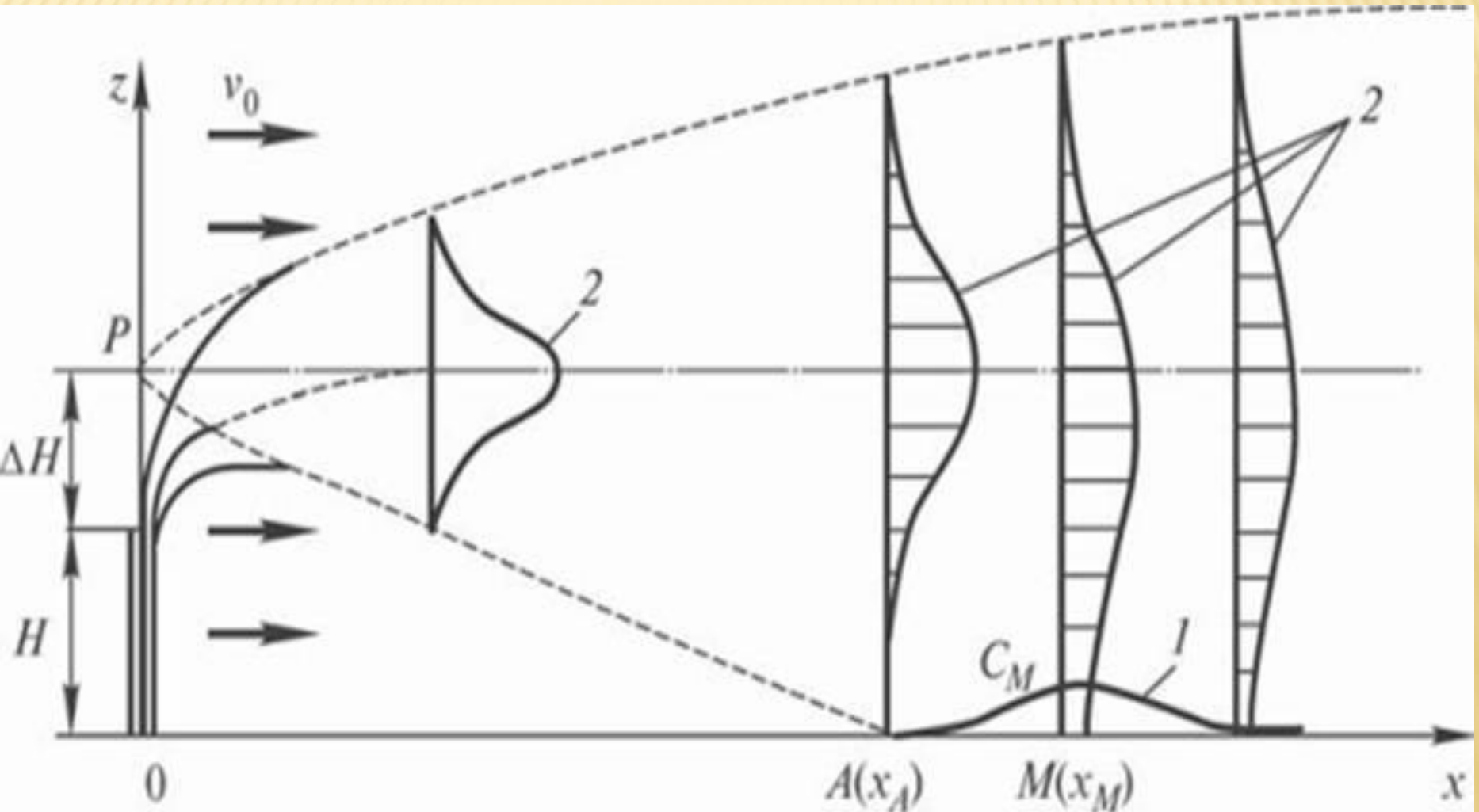


**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ,
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВ В АТМОСФЕРЕ.
УРАВНЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ДИФФУЗИЙ**

Важнейшими проблемами общества в настоящее время являются экологические вопросы, так как в результате антропогенной деятельности человека катастрофически ухудшается состояние всех компонентов окружающей среды (воздуха, воды, почвы). Возрастающее загрязнение атмосферного воздуха, как важнейшей компоненты среды обитания человека, представляет угрозу не только здоровью человека, но и всей окружающей среде в целом. Повышенная концентрация загрязняющих веществ (ЗВ) наблюдается в атмосфере практически каждого промышленного города, поэтому возникла острая необходимость в осуществлении экологического мониторинга на всей территории планеты с целью предотвращения или уменьшения их воздействия на экосистему.

Распространение в атмосфере выбрасываемых из труб и вентиляционных устройств промышленных выбросов подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс рассеивания выбросов существенное влияние оказывают состояние атмосферы, расположение предприятий и источников выбросов, характер местности, физические и химические свойства выбрасываемых веществ, высота источника, диаметр устья и т.п. Горизонтальное перемещение примесей определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное - распределением температур в вертикальном направлении.

НА РИСУНКЕ 1 ПОКАЗАНА СХЕМА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОЙ СТРУИ, ИСТЕКАЮЩЕЙ ИЗ ТРУБЫ ПРИ НАЛИЧИИ СНОСЯЩЕГО ВЕТРОВОГО ПОТОКА. ДЕЙСТВИЕ ПОСЛЕДНЕГО ПРИВОДИТ К ИСКРИВЛЕНИЮ СТРУИ.



✘ Рисунок 1

✘ Превышение горизонтальной оси факела над устьем трубы зависит от условий истечения газовой смеси и скорости ветра V :

✘
$$\Delta H = 0,75(wD/v)[2,5 + 1,65gD\Delta T/(Tv^2)], -)$$

✘ где w - скорость истечения, м/с; D - диаметр устья трубы, м; $T = T_0 \Delta T_{ат}$ - разность температур газовой смеси на выходе из трубы T_0 и атмосферного воздуха $T_{ат}$ летом, К.

✘ Факел, расширяясь, достигает земли (точка $A(x_A)$), в некоторой точке $M(x_M)$ приземная концентрация достигает максимума C_m , стремясь затем к нулю на удалении (кривая 1).

- ✘ Значение C_m зависит от скорости ветра. При увеличении последней уменьшается ΔH , т.е. факел прижимается к земле, что способствует возрастанию концентраций на ее поверхности. С другой стороны, увеличение скорости ветра усиливает процесс рассеивания факела в вертикальном направлении, что приводит к уменьшению концентраций.

На рисунке 2 показано распределение концентрации вредных веществ в атмосфере над факелом организованного высокого источника выброса. По мере удаления от трубы в направлении распространения промышленных выбросов можно условно выделить три зоны загрязнения атмосферы:

- ✗ переброс факела выбросов, характеризующийся относительно невысоким содержанием вредных веществ в приземном слое атмосферы;

- ✗ задымление с максимальным содержанием вредных веществ и постепенное снижение уровня загрязнения. Зона задымления является наиболее опасной для населения и должна быть исключена из селитебной застройки. Размеры этой зоны в зависимости от метеорологических условий находятся в пределах 10...49 высот трубы;

- ✗ зона постепенного снижения уровня загрязнения.

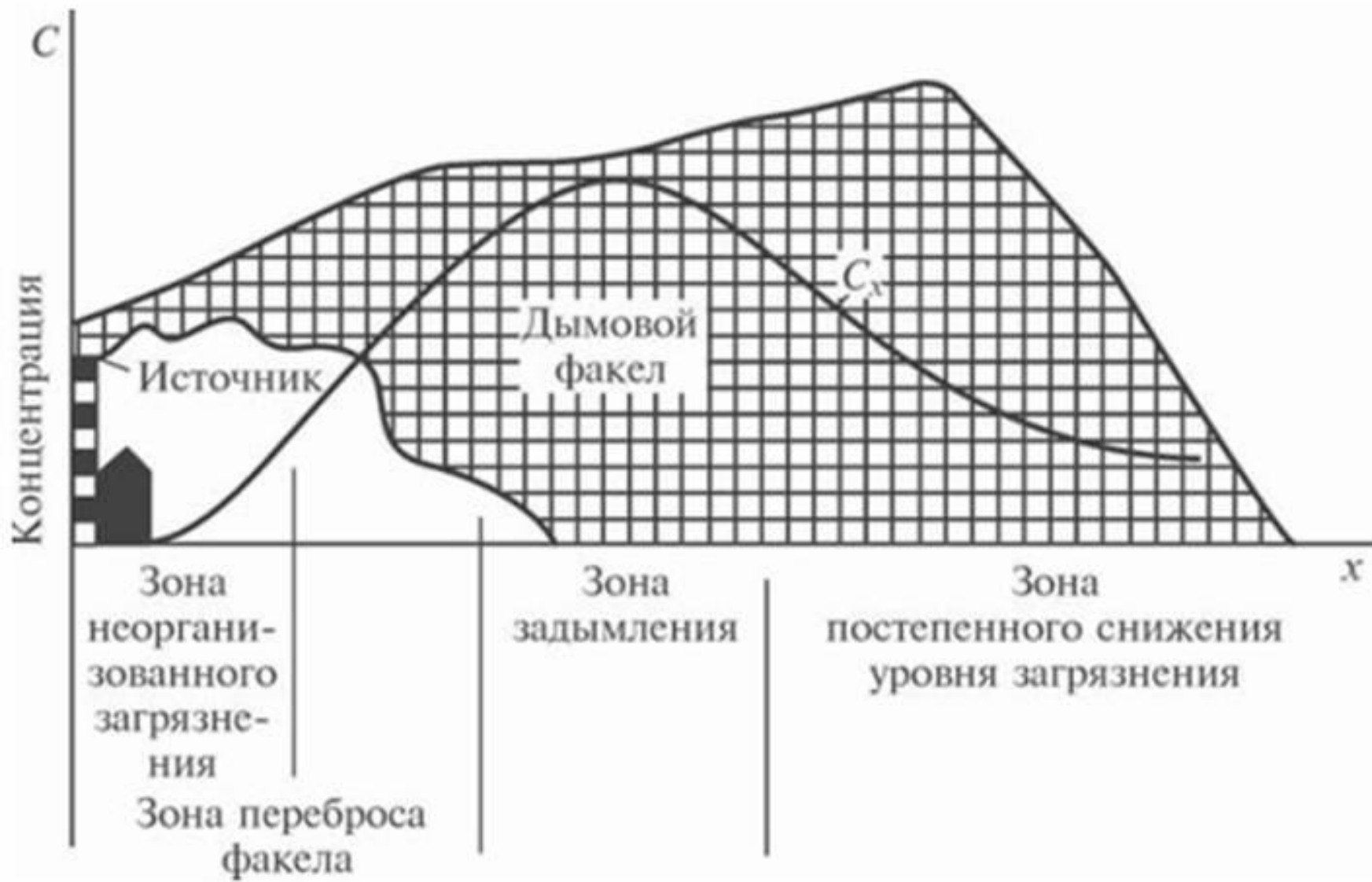


РИСУНОК 2

Методика ОНД - 86.

В странах СНГ для расчета локального загрязнения атмосферы выбросами предприятий применяется методика ОНД-86, сводящая к последовательности аналитических выражений, полученных в результате аппроксимации разностного решения уравнения турбулентной диффузии. Методика ОНД-86 позволяет рассчитывать максимально возможное распределение концентрации выбросов на расстоянии 2 метра от поверхности земли в условиях умеренно неустойчивого состояния атмосферы и усредненные по 20 минутному интервалу, но не учитывает такие факторы, как класс устойчивости атмосферы и шероховатость подстилающей поверхности.

Рассмотрим следующие модели рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе:

1. Нестационарная Гауссова модель.
2. Стационарная Гауссова модель.
3. Модель Пасквилла-Бригса.
4. Модель Сеттона.
5. Модель турбулентной диффузии.

Гауссовы модели основаны на гипотезе о том, что распределение частиц в струе или облаке близко к нормальному.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ГАУССОВА МОДЕЛЬ

Уравнение, описывающее распределение загрязняющего вещества для нестационарного случая

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{((x - x_0) - ut)^2}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

Где:

- ✘ $C(x, y, z, t)$ - концентрация загрязняющего вещества в точке с координатами X, Y, Z в момент времени t , [г/м³];
- ✘ Q - мощность непрерывного точечного источника загрязнения, [г/с];
- ✘ U - скорость ветра на высоте H метров, [м/с];
- ✘ H - эффективная высота источника загрязнения, [м];
- ✘ t - время транспорта, [с];
- ✘ σ_x, σ_y - горизонтальные дисперсии, [м];
- ✘ σ_z - вертикальная дисперсия, [м];
- ✘ X_0, Y_0, H - координаты точечного источника загрязнения, [м];
- ✘ Параметры $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ увеличиваются с расстоянием $X - X_0$.

Скорость увеличения зависит от интенсивности турбулентности и тем самым от стабильности атмосферы. Для практического использования зависимости $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ расстояние определяются на основании экспериментальных данных.

СТАЦИОНАРНАЯ ГАУССОВА МОДЕЛЬ

Интегрируя по времени концентрацию загрязнений, выбрасываемых из непрерывного источника, можно получить установившееся распределение концентрации для стационарной модели Гаусса

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

В обоих случаях направление ветра совпадает с направлением оси X. В гауссовой модели также предполагается, что имеет место отражение загрязняющего вещества от поверхности земли. Отражение характеризуется членом в фигурных скобках. Модель построена в предположении однородности и устойчивости атмосферы.

Представленная модель имеет ряд недостатков:

- ✗ не учитывает рельеф поверхности;
- ✗ не учитывает изменение метеорологических параметров в пространстве и во времени;
- ✗ не описывает работу источников загрязнения работающих ограниченное время;
- ✗ используются характеристики полученные для наземных, а не приподнятых источников;
- ✗ не учитывает вертикальную структуру пограничного слоя.

Гауссовы модели могут адекватно описывать распределение загрязняющего вещества только в горизонтальном направлении, для расчета вертикального профиля они применимы на очень коротких расстояниях.

Модель Пасквилла-Бригса

Значения дисперсий задаются в виде:

$$\sigma_y = p_1 x (1 + q_1 x)^{-0.5}$$

$$\sigma_z = p_2 x (1 + q_2 x)^{-1}$$

- p_i, q_i - задаются таблично для каждого класса устойчивости атмосферы

Для расстояний от 100 м до 10 км в случае ровной открытой местности

$$\sigma_y = \frac{\alpha_x x}{\sqrt{1 + 10^{-4} x}}$$

$$\sigma_z = \frac{\alpha_z x}{s_z(x)}$$

МОДЕЛЬ СЕТТОНА

Первоначально Сеттон получил формулу для наземных источников загрязнений, которая подтвердилась результатами наблюдений в Портоне (Англия) при равновесных условиях для сравнительно небольших расстояний (несколько сотен метров). Распределение примеси вблизи точечного источника в разных направлениях описывается гауссовским законом. Концентрация примеси в точке (x, y, z) от источника, расположенного в начале координат, пропорциональна произведению

$$p_y = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

на аналогичные функции p_z и p_x

- σ_y^2 дисперсия распределения примеси в направлении y

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{2} c_i^2 (\bar{u} t)^{2-n}$$

- c_i некоторые коэффициенты
- \bar{u} средняя по высоте скорость ветра
- t время после момента действия источника (в случае мгновенного источника), для непрерывного источника полагается, что $t = x/\bar{u}$
- $i = 1, 2, 3$ соответствует x, y, z
- параметр n можно определить вертикальному профилю скорости ветра, тем самым косвенно учесть условия стратификации

МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ

Полное уравнение массопереноса в общем виде описывается уравнением турбулентной диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} u \cdot C + \frac{\partial}{\partial y} v \cdot C + \frac{\partial}{\partial z} \omega \cdot C = \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} D_z \frac{\partial C}{\partial z}$$

Граничное условие

$$D_z \frac{\partial C}{\partial z} + \omega C = \beta C$$

- C - концентрация загрязняющего вещества [г/м³]
- D_x, D_y, D_z - коэффициенты турбулентной диффузии [м²/с]
- u - средняя скорость ветра вдоль оси x , [м/с]
- v - средняя скорость ветра вдоль оси y , [м/с]
- w - средняя скорость седиментации частиц загрязняющего вещества, [м/с]
- β - постоянная [м/с]. При $\beta = 0$ граничное условие означает, что поток на поверхности равен нулю, все загрязняющее вещество остается в атмосфере "отражаясь" от поверхности земли. При $\beta = \infty$ загрязняющее вещество "прилипает" к поверхности. В промежуточном случае $0 < \beta < \infty$ вещество частично "отражается" частично "прилипает", обычно рассматриваются лишь две крайние возможности - "отражение" или "прилипание".

Аналитическое решение уравнение турбулентной диффузии имеет в частных случаях в предположениях конкретных функций коэффициентов диффузии от координат.

Решение уравнения турбулентной диффузии при постоянных коэффициентах диффузии и однородных граничных условиях

Решение уравнения турбулентной диффузии при постоянных коэффициентах турбулентной диффузии D_x, D_y, D_z при действии постоянного точечного источника загрязнения с учетом однородных граничных условий

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = D \left(\frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z} \right) + Q \delta(r)$$

- $Q\delta$ - Действие постоянного точечного источника загрязнения, δ - дельта функция Дирака
- Q - Мощность точечного источника загрязнения, [г/с]
- r - Расстояния от источника, [м]
- $D = D_x = D_y = D_z$ - Коэффициент турбулентной диффузии, [м²/с]

Решение уравнения

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi D r} \exp\left[-\frac{u}{2D}(r - x)\right]$$

Согласно этой модели, зависимость концентрации от расстояния до источника носит гиперболический характер, в то время как по модели Гаусса эта зависимость носит характер экспоненциального закона убывания.