

6. Распространение ПВО в приземном слое атмосферы

6.1 Постановка задачи

Закон сохранения массы

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \text{div}(\rho \mathbf{U}) = 0$$

Закон сохранения импульса

$$\frac{d(\rho C)}{d\tau} + \text{div}(\rho \mathbf{U} C) = \text{div}(\rho K * \text{grad} C)$$

$$\frac{d(\rho u)}{d\tau} + \text{div}(\rho \mathbf{U} u) = \text{div}(\rho K * \text{grad} u) - \frac{dp}{dx}$$

$$\frac{d(\rho v)}{d\tau} + \text{div}(\rho \mathbf{U} v) = \text{div}(\rho K * \text{grad} v) - \frac{dp}{dy}$$

$$\frac{d(\rho w)}{d\tau} + \text{div}(\rho \mathbf{U} w) = \text{div}(\rho K * \text{grad} w) - \frac{dp}{dz} - \rho g$$

Закон сохранения энергии

$$\frac{d(\rho H)}{d\tau} + \text{div}(\rho \mathbf{U} H) = \text{div}(\rho K * \text{grad} H) + \frac{d\rho}{d\tau}$$

Постановка задачи (продолжение)

Уравнение состояния идеального газа

$$p = \rho T [\bar{C} R_g + (1 - \bar{C}) R_a]$$

Уравнение энтальпии смеси газ - влажный воздух

$$H = [c_{p,a} (1 - \bar{C}) + c_{p,g} \bar{C}] T + L_{исп} \zeta (1 - \bar{C}) \psi(\tau)$$

Здесь ζ - абсолютная влажность воздуха;

$\psi(\tau)$ - линейная температурная функция, равная

$$\psi(\tau) = \begin{cases} 0, & \text{при } T < 263 \text{ К} \\ (T - 263)/20, & \text{при } 263 < T < 283 \text{ К} \\ 1, & \text{при } T > 283 \text{ К} \end{cases}$$

\bar{C} - массовая концентрация пара (газа);

$\underline{U} = i u + j v + k w$ - вектор скорости;

Начальные и граничные условия:

$z = h_{пс}$ невозмущенный поток приземного слоя атмосферы;

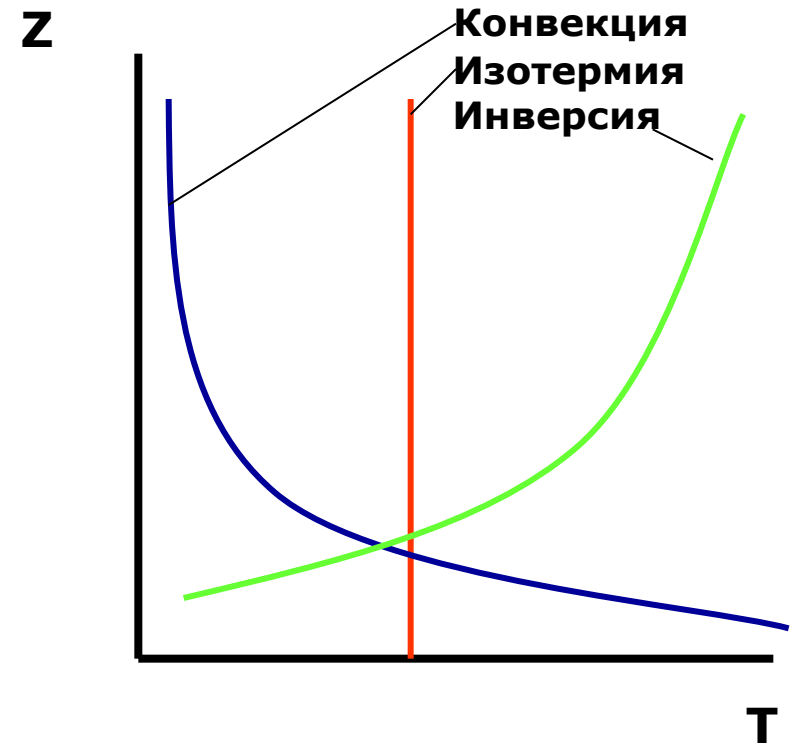
$$z = 0; \underline{U}(x, y, z, \tau) = \underline{0}; \quad \rho K_z \left(\frac{d\bar{C}}{dz} \right) = 0; q = \alpha (T_{zp} - T)$$

Постановка задачи (продолжение)

K_x, K_y, K_z -коэффициенты турбулентной диффузии

$$K_x = K_y = \beta K_z$$

| Класс устойчивости атмосферы (dT/dz) | β |
|--|---------|
| A - сильная конвекция ($< 1,9$) | 0,1 |
| B – конвекция - (1,9...1,7) | 0,5 |
| C – умеренная конвекция - (1,7...1,5) | 1,5 |
| D – нейтральная - (1,5...0,5) | 6,0 |
| E – инверсия + (0,5...1,5) | 19,0 |
| F – сильная инверсия + (1,5...4,0) | 65,0 |



Цель решения: определить $C(x, y, z, \tau)$

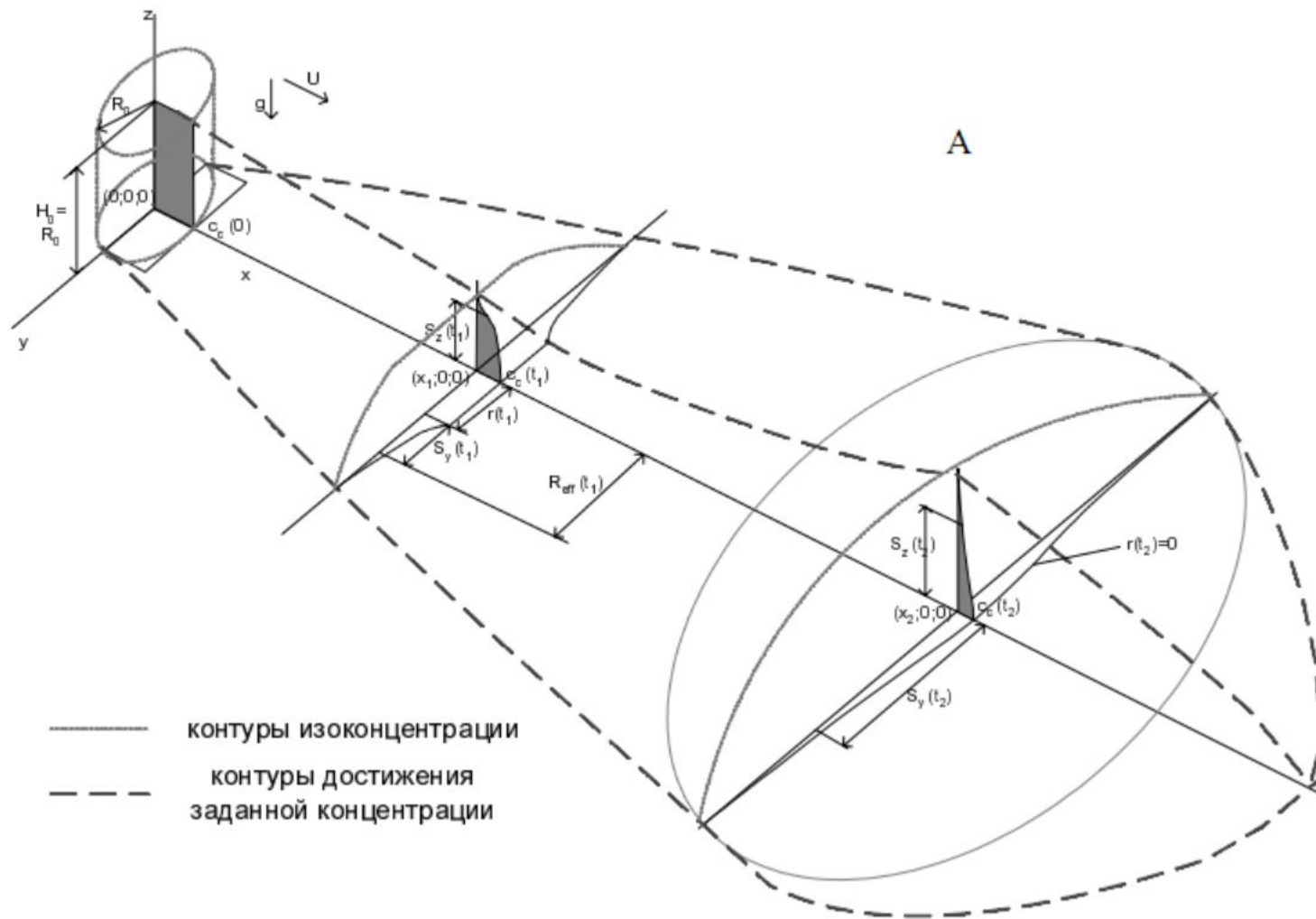
Методы решения:

Автомодельные. Базируются на закономерностях турбулентного переноса и вероятностно-статистических представлениях о рассеянии поллютантов, не требуют трудоемких расчетов и экспериментов.

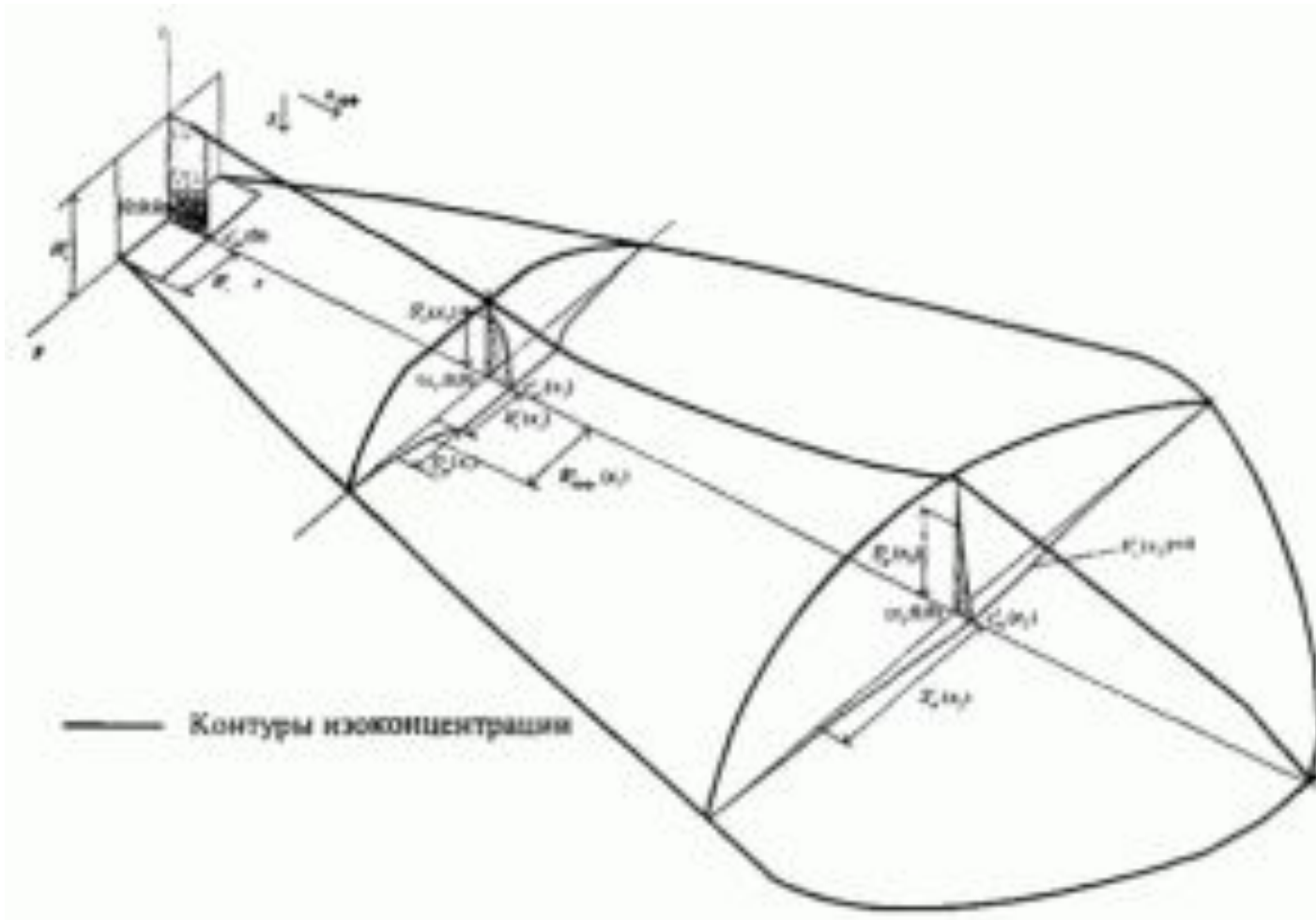
Дисперсионные (гауссовы). Постулируется, что распределение концентрации по сечению облака является нормальным (гауссовым) и определяется коэффициентами дисперсии

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$$

Численные. Основаны на численном решении уравнений Навье-Стокса с использованием тех или иных моделей турбулентности



Распространение первичного облака



Распространение вторичного облака

Методика «ТОКСИ» (НТЦ «Промышленная безопасность»)

Допущения:

- газообразное ОХВ считается идеальным газом, свойства которого не зависят от температуры;
- жидкое ОХВ считается несжимаемой жидкостью, свойства которой не зависят от температуры;
- истечение ОХВ и его испарение происходят с постоянной скоростью;
- в образовавшемся сразу после выброса облаке находится только ОХВ без подмешанного воздуха;
- разлив жидкой фазы происходит по твердой, не впитывающей поверхности с высотой разлившегося слоя 0,05 м; при расчете рассеяния ОХВ в атмосфере используется гауссова модель диффузии пассивной примеси, осаждение ОХВ на подстилающую поверхность и его химические превращения не учитываются;
- метеоусловия остаются неизменными в течение времени экспозиции, а характеристики атмосферы - постоянны по высоте.

Сценарий 3. Полное разрушение оборудования, содержащего ОХВ в жидком состоянии

Методика «ТОКСИ» (продолжение)

Исходными данными для расчета являются:

- физико-химические и токсикологические характеристики ОХВ;
- количество и технологические параметры ОХВ;
- параметры оборудования, в котором обращается ОХВ;
- вероятный сценарий выброса ОХВ в атмосферу;
- топографические характеристики территории вблизи аварийного объекта;
- метеоусловия на момент аварии;
- время экспозиции.

Масса ОХВ, образующая первичное облако Q_3 , кг складывается из массы ОХВ, переходящей в первичное облако при мгновенном вскипании перегретого ОХВ $Q_{3г}$, массы ОХВ, переходящей в первичное облако в виде аэрозоля $Q_{3ж}$, массы ОХВ, переходящая в первичное облако при кипении пролива Q_3 и и массы газообразного ОХВ в оборудовании $Q_г$, т.е.

$$Q_3 = Q_{3г} + Q_{3ж} + Q_{3и} + Q_г.$$

Методика «ТОКСИ» (продолжение)

Если величина Q^r заранее неизвестна, то ее можно определить по формуле

$$Q^r = \alpha \frac{\mu V_3 P_3}{R T_3},$$

α – объемная доля оборудования, заполненная газовой фазой

Расход ОХВ во вторичное облако, образующееся при испарении ОХВ из пролива q_3^u , кг/с равен

$$q_3^u = F \sqrt{\mu} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1 U) P_{\text{нас}}$$

Размер первичного облака в начальный момент времени R_3 , м равен

$$R_1 = \sqrt[3]{3Q_1 / (4\pi\rho_1^{\text{выб}})}$$

Методика «ТОКСИ» (продолжение)

Определение полей концентрации ОХВ

Концентрация ОХВ при прохождении **первичного** облака

$$c(x, y, z, \tau) = G_3(x, y, z, \tau) \frac{Q_i}{2,67\pi R_i^3 + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z},$$

$$G_3(x, y, z, \tau) = \exp\left[-\frac{x - U\tau}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] * \left[\exp\left(-\frac{(z - h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$$

Концентрация ОХВ при прохождении **вторичного** облака, образующегося при истечении газообразного ОХВ из разрушенного оборудования **при наличии пролива**

$$c_i^e(x, y, z, \tau) = G_H(x, y, z) \frac{q_i^e}{U[2\pi(R_i^e)^2 + 2\pi\sigma_y\sigma_z]},$$

$$G_H(x, y, z) = \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] * \left\{\exp\left[-\frac{(z - h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + h)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}$$

Методика «ТОКСИ» (продолжение)

Коэффициенты дисперсии

$$\sigma_x = \frac{C_3 x}{\sqrt{1 + 0,0001x}}$$

$$\sigma_y = \begin{cases} \sigma_{x/U}^x (220,2 * 60 + x/U) / (220,2 * 60 + 600), & \text{если } x/U \geq 600 \\ \sigma_{x'} & \text{если } x/U < 600. \end{cases}$$

$$\sigma_z = f(z_0, x) * q(x),$$

где $q(x) = \frac{A_1 x^{B_1}}{1 + A_2 x^{B_2}};$

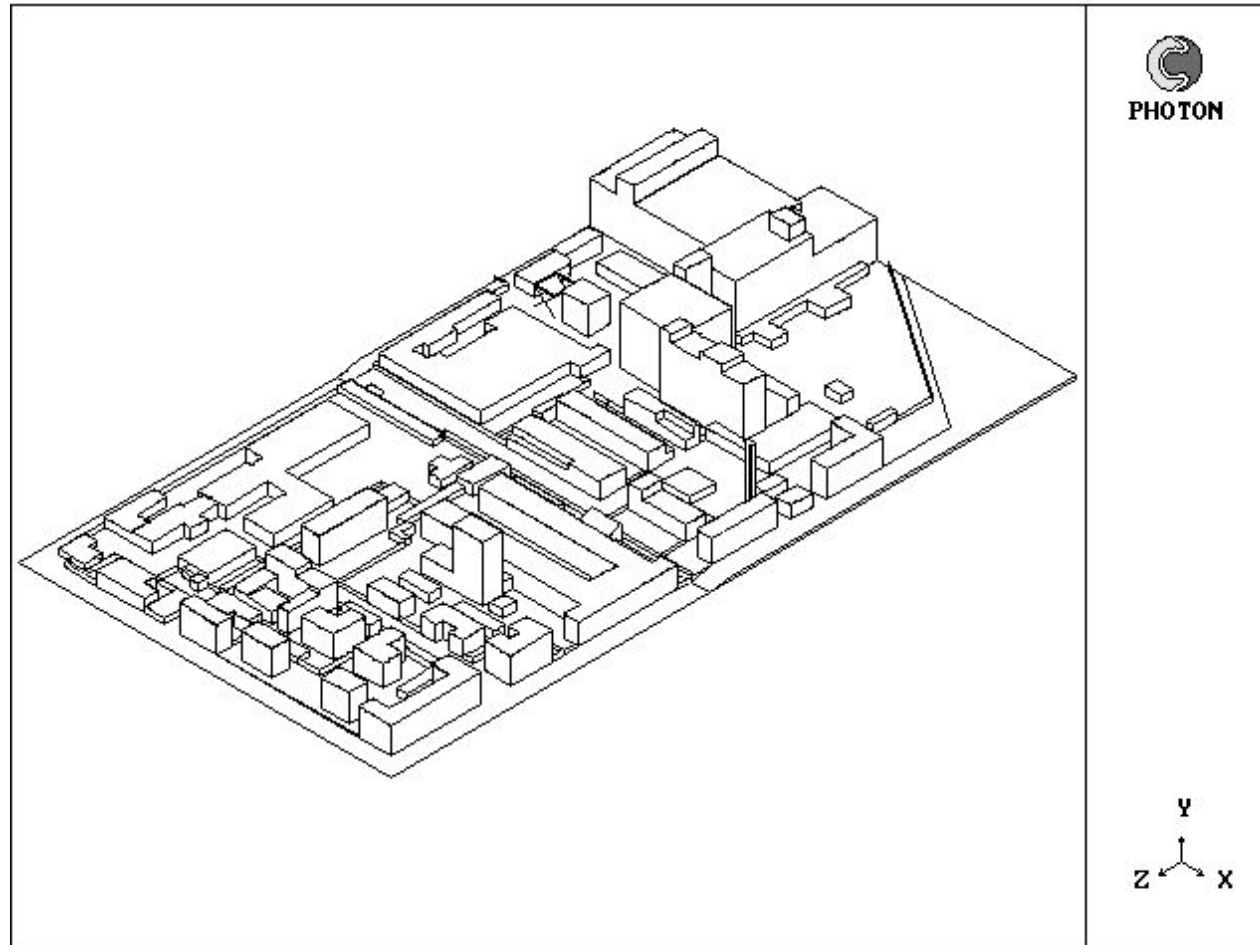
z_0 – коэффициент, характеризующий шероховатость

подстилающей поверхности;

Значения коэффициентов A_1, A_2, B_1, B_2, C_3 зависят от класса устойчивости атмосферы, зависящего от скорости ветра и интенсивности теплого потока у поверхности земли

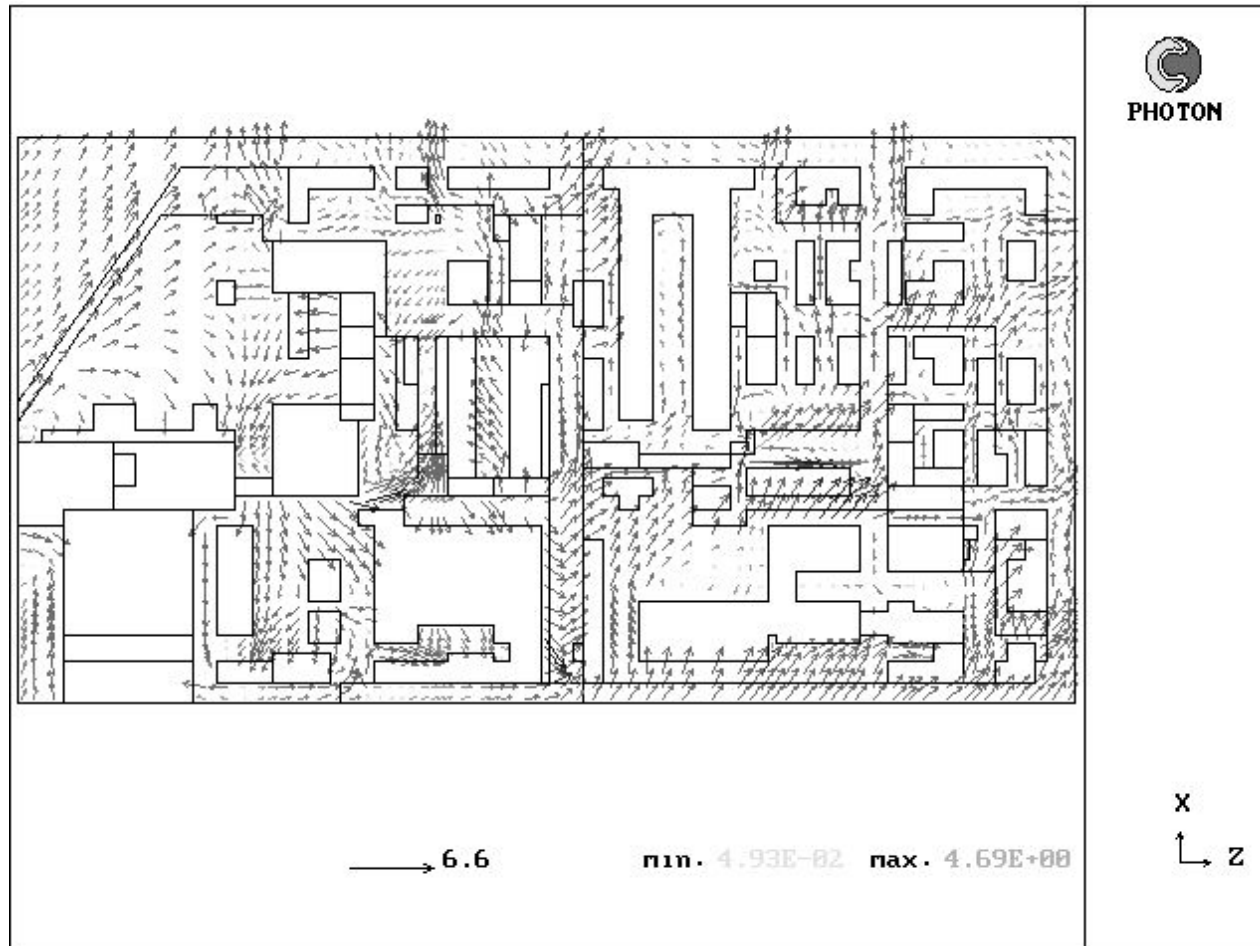
Численные методы решения

Вычислительный комплекс PHOENICS



Застройка в районе мясокомбината «МИКОМС»

Вычислительный комплекс PHOENICS



Распределение векторов скорости ветра в микрорайоне

Вычислительный комплекс PHOENICS



Распределение концентрации аммиака в микрорайоне