

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПОЛЯ ПРИЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

БОРЗЕНКОВ Б.И., МАЛЮК В.Г.

Описываются методика, программная реализация и результаты практических расчетов поля приземной концентрации газовой смеси выбросов техногенного характера в атмосфере.

Освоение природных ресурсов, строительство и эксплуатация промышленных комплексов, возникновение и рост городов сопровождается выбросами в атмосферу вредных примесей, способных переноситься на значительные расстояния. Антропогенное загрязнение атмосферы примесями (в том числе химически и биологически активными) связано с деятельностью мощных промышленных предприятий, разнообразием выпускаемых ими материалов, несовершенством технологических процессов. Выбросы загрязняющих веществ могут носить в том числе и аварийный характер [1,2]. Загрязнение приземного слоя атмосферы в значительной степени зависит от метеословий. Инвентаризация выбросов состоит в определении их характеристик и систематизации сведений о распределении источников на местности. По результатам мониторинга производится прогнозирование возможного вредного влияния загрязнения, что выполняется в целях экспертизы проектов промышленных сооружений, определения границ санитарно-защитных зон и зон загрязнения в случаях аварийных выбросов. Такое прогнозирование невозможно без использования математических моделей.

1. Методика расчета

Существует нормативный документ, регламентирующий методику расчета приземных концентраций вредных веществ, предназначенный для обязательного использования при проектировании и строительстве предприятий и жилых зданий, нормировании вредных выбросов в атмосферу, экспертизе и согласованию экологоохранных мероприятий [3]. Методика, используемая в нем, основана на расчете наибольшей величины приземной концентрации, которая может устанавливаться на определенном расстоянии от места выброса. Учет влияния группы источников на результирующее загрязнение производится на основе расчета процессов рассеивания выбросов от одиночного точечного источника, для которого величина максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m , мг/м³ определяется по формуле:

$$C_m = A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n / (H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}),$$

где A — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, которая определяет условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе; M — количество вредного вещества, выбрасываемого в

атмосферу; F — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n — безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; H — высота источника выброса над уровнем земли; W_0 — средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса; ΔT — разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха; V_1 — объем газовой смеси, выбрасываемой в атмосферу, который определяется по формуле $V_1 = \frac{\pi \cdot D^2 W_0}{4}$, где D — диаметр устья источника выброса.

Величина безразмерного коэффициента m определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1\sqrt{f} + 0.34\sqrt[3]{f}},$$

где $f = 10^3 \frac{W_0 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}$.

Величина безразмерного коэффициента n определяется в зависимости от параметра $V_m = 0.653 \sqrt{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}$ следующим образом: при $V_m < 0.5$ — $n = 4.4 V_m$; при $0.5 \leq V_m < 2$ — $n = 3.13 - 2.13 V_m + 0.532 V_m^2$; при $V_m \geq 2$ — $n = 1$.

Скорости ветра вводятся в расчет, как правило, по направлениям розы ветров. Для определения составляющей скорости ветра U в направлении от источника выброса к точке, в которой производится вычисление текущей концентрации, мы использовали линейную аппроксимацию (рис.1).

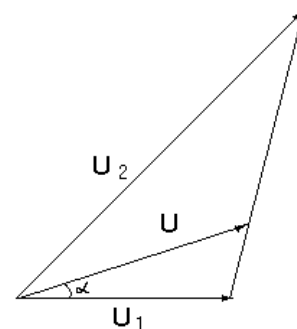


Рис. 1. К определению скорости ветра U , направленного к расчетной точке

Полагая скорости U_1 и U_2 на краях сектора розы ветров известными, можно определить составляющую скорости ветра в направлении на точку:

$$U = \frac{U_1}{\cos \alpha - \sin \alpha (1 - U_1 \sqrt{2} / U_2)}.$$

Величина опасной скорости ветра U_m , при которой имеет место наибольшая приземная концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе, определяется в зависимости от параметра V_m следующим образом: при $V_m < 0.5$ — $U_m = 0.5$; при $0.5 \leq V_m < 2$ — $U_m = V_m$; при $V_m \geq 2$ — $U_m = V_m (1 + 0.12 \sqrt{f})$.

Величина максимальной приземной концентрации C_m с учетом показателей местной средней скорости ветра U , отличающейся от опасной скорости ветра U_m , определяется по формуле

$$C_{mi} = r \cdot C_m, \quad (1)$$

где r – безразмерная величина, определяемая в зависимости от соотношения $q = U/U_m$: $r = 0.67q + 1.67q^2 - 1.34q^3$ при $q \leq 1$; $r = 3q/(2q^2 - q + 2)$ при $q > 1$.

Расстояние X_m от источника, на котором достигается максимальная приземная концентрация, определяется по формуле: $X_m = d \cdot H$ при $f < 2$; $X_m = (5 - f) \cdot d \cdot H / 4$ при $f \geq 2$, где d – безразмерная величина, определяемая в зависимости от параметра V_m : при $V_m < 0.5$ – $d = 2.48(1 + 0.28\sqrt[3]{f})$; при $0.5 \leq V_m < 2$ – $d = 4.95 \cdot V_m(1 + 0.28\sqrt[3]{f})$; при $V_m \geq 2$ $d = 7\sqrt[3]{V_m(1 + 0.28\sqrt[3]{f})}$.

Расстояние X_{mi} , на котором достигается максимальная предельная концентрация C_{mi} , с учетом местной средней скорости ветра U_m определяется по формуле:

$$X_{mi} = p \cdot X_m, \quad (2)$$

здесь p – безразмерная величина, определяемая в зависимости от соотношения $q = U/U_m$: при $q \leq 0.25$ – $p = 3$; при $0.25 < q \leq 1$ – $p = 8.43(1 - q)^5 + 1$; при $q > 1$ – $p = 0.32q + 0.68$.

Текущая концентрация C вещества на расстоянии X от источника определяется по эмпирическому нормированному графику одномерного распределения имиссии с подветренной стороны источника газозвдушных выбросов. Этот график представляет собой зависимость величины $f = C/C_{mi}$ от соотношения $x = X/X_{mi}$ [3]. Там же приводятся формулы аппроксимации данного графика. Нами была использована более простая и более точная формула

$$f(x) = a_1 \left[a_3 - \exp(-x^{a_2}) \right] \exp(-a_4 x), \quad (3)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4 – параметры аппроксимации. Результаты тестирования данной формулы изложены в работе [4].

Рассматривая концентрацию примеси от произвольной системы источников как суперпозицию вкладов от отдельных источников, можно рассчитать поле концентраций при текущих метеопараметрах с учетом розы ветров.

2. Программная реализация

Описанная выше методика используется в программе “Pole”, предназначенной для экологических расчетов, анализа экстремальных ситуаций, а также для использования в системах оперативного мониторинга воздушного бассейна в промышленных районах [5,6]. Все расчеты проводятся в привязке к крупномасштабной карте местности, которая вводится в компьютер в виде bmp-файла. Исходные данные для расчета хранятся в файле проекта, включающем информацию о расположении и характеристиках источников выбросов, а также текущих значениях метеопараметров и скорости ветра: коэффициент стратификации; температура атмосферного воздуха, °C; скорость ветра по направлениям розы ветров, м/с.

Для каждого источника выбросов указываются: номер источника; имя источника; название вредного вещества; координаты источника; поток вредного вещества, г/с; коэффициент оседания вещества;

скорость выхода вещества, м/с; диаметр источника выброса, м; высота источника выброса, м; температура выбрасываемой смеси, °C.

Результаты расчета двумерного поля концентраций представляются в графическом виде в привязке к карте местности. Предусмотрено графическое выделение зон, в пределах которых рассчитываемые значения превосходят предельно допустимые концентрации конкретного вредного вещества. Допускается изменение масштаба и скроллинг изображения.

Результаты расчета поля концентраций могут быть представлены в трехмерном изображении. Допускается вращение изображения вокруг любой оси.

На рис. 2,3 приведены диаграммы распределения примесей (вид сверху).

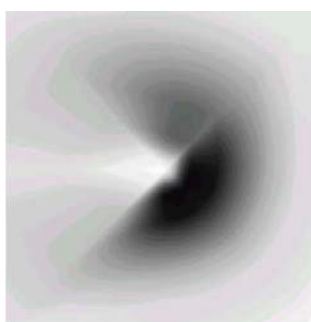


Рис. 2. Распределение примесей от одного источника

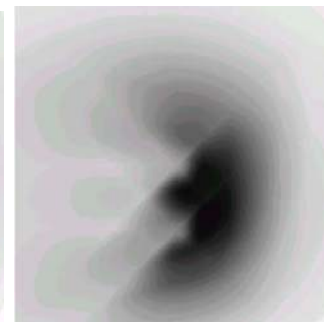


Рис. 3. Распределение примесей от трех источников

Исходный код программы занимает около 0,05 Мб, объем загрузочного модуля составляет 0,105 Мб.

Литература: 1. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов. М.: Энергоатомиздат, 1992. 176 с. 2. Павленко Ю.С., Никонов А.М. Прогнозирование распространения загрязнений в приземном слое атмосферы/Гигиена и санитария. 1993. №6. С.67-69. 3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Л.: Гидрометеоздат, 1987. 93 с. 4. Борзенков Б.И., Малюк В.Г., Леонидов В.И., Ключка Р.В. Аппроксимация функции распределения приземной концентрации примеси//Труды междунар. науч.-техн. конф. “Вопросы проектирования, эксплуатации технических систем в металлургии, машиностроении, строительстве”, Ст. Оскол, 1999. С.12-13. 5. Борзенков Б.И., Малюк В.Г., Леонидов В.И., Ключка Р.В. Прогнозирование распространения загрязнений в атмосфере//Тез. докл. на междунар. науч.-техн. конф. “Вопросы проектирования, эксплуатации технических систем в металлургии, машиностроении, строительстве”, Ст. Оскол, 1999. С.25. 6. Борзенков Б.И., Малюк В.Г., Леонидов В.И. Система оперативного контроля экологии воздушного бассейна промышленного района//Тез. докл. на 4-й междунар. конф. “Теория и техника передачи, приема и обработки информации”, Харьков, 1998. С.80.

Поступила в редколлегию 20.11.99

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Прохач Э.Е.

Борзенков Борис Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры биомедицинских электронных устройств и систем ХТУРЭ. Научные интересы: разработка электронных систем, моделирование физических процессов. Хобби: шахматы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-64, 37-25-74.

Малюк Виктор Григорьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры биомедицинских электронных устройств и систем ХТУРЭ. Научные интересы: моделирование процессов в биосистемах, компьютерные технологии в медицине. Хобби: художественная литература, водный туризм. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-64, 94-11-71.