

УДК 004.4:504.3.054

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА**Хаширова Т.Ю., Акбашева Г.А., Шакова О.А., Акбашева Е.А.***ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик,
e-mail: galina_akbash@mail.ru*

В условиях современной экологической обстановки моделирование загрязненности атмосферного воздуха является актуальной проблемой. Рассмотрено моделирование состояния качества атмосферного воздуха с использованием различных математических подходов, описывающих физико-химические процессы, которые моделируются в зависимости от вида загрязнения, параметров выбросов, метеорологических, топографических и других условий, влияющих на рассеивание загрязняющих веществ. Приведены ключевые требования, предъявляемые к моделям загрязнения атмосферного воздуха. Рассмотрены этапы построения и классификация моделей загрязнения атмосферного воздуха. Одним из типов моделей загрязнения атмосферного воздуха являются модели, имеющие в основе математическое описание физических процессов, происходящих в атмосфере. Подобными являются модели, построенные на базе решения уравнения турбулентной диффузии. Рассмотрены решения уравнения для описания явления переноса и диффузии загрязняющего вещества для моделей «клубка», «факела», «ящика» и «конечно-разностной» модели. Описаны достоинства и недостатки этих моделей. Описана программная реализация модели «факела».

Ключевые слова: загрязненность атмосферного воздуха, моделирование, «клубок», «факел», «ящик», уравнения турбулентной диффузии

MODELING OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION**Khashirova T.Yu., Akbasheva G.A., Shakova O.A., Akbasheva E.A.***Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, e-mail: galina_akbash@mail.ru*

In modern environmental conditions modeling of air pollution is an actual problem. The simulation of the state of atmospheric air quality using various mathematical approaches describing the physicochemical processes that are modeled depending on the type of pollution, emission parameters, meteorological, topographical and other conditions influencing the dispersion of pollutants is considered. The key requirements for models of atmospheric air pollution are given. The stages of construction and classification of atmospheric air pollution models are considered. One of the types of atmospheric air pollution models are models that have as their basis a mathematical description of the physical processes taking place in the atmosphere. Similar models are based on the solution of the equation of turbulent diffusion. The solutions of the equation for describing the phenomenon of transport and diffusion of the pollutant for the models of «coil», «torch», «box» and «finite-difference» model are considered. The advantages and disadvantages of these models are described. The software implementation of the «torch» model is described.

Keywords: pollution of atmospheric air, modeling, «tangle», «torch», «box», equations of turbulent diffusion

В условиях современной экологической обстановки моделирование загрязненности атмосферного воздуха является актуальной проблемой.

Развитие возможностей вычислительной техники позволяет использовать математический аппарат моделирования для исследования таких сложных физико-химических процессов, как атмосферная диффузия, трансформации загрязняющих веществ в атмосфере, процессы вымывания и осаждения примесей и пр., с учетом метеорологических и топографических условий [1].

Модель загрязненности атмосферного воздуха должна соответствовать следующим основным требованиям: необходимая разрешающая способность прогноза в пространстве и во времени; учитывать погодные условия и состояние тропосферы и поверхности земли в местах контакта, типов источников загрязнения; увеличение точности модели по мере увеличения количества информации или улучшения её качества [2].

Этапы построения модели загрязнения атмосферного воздуха представлены на рис. 1.

Результатом моделирования является распределение концентрации вредных веществ в пространстве и во времени.

Содержание постановки задачи моделирования может представлять собой получение либо оперативного прогноза, либо долгосрочного планирования. Оперативным считают прогноз для времени от 30 мин до одного дня [3]. В других источниках [4] рассмотрены иные сроки прогнозирования: экспресс или оперативное, предполагающее время 1–2 ч, краткосрочное для времени от 12 ч до 1–2 суток, долгосрочное – от 3 суток до 2–3 недель, перспективное – от 1 месяца до нескольких лет.

Наличие различных подходов к моделированию процессов, происходящих в атмосфере, обусловлено отсутствием обобщающей физико-математической модели, учитывающей все параметры явлений атмосферной диффузии. Выбор подхода к моделированию зависит от постановки задачи и определяет качество модели и точность прогноза.



Рис. 1. Этапы построения модели загрязнения атмосферного воздуха

При моделировании загрязнения атмосферного воздуха необходимо учитывать тип и время прогнозирования, определить класс источников загрязнения атмосферного воздуха – точечные, линейные, площадные и др., а также территориальное расположение источников загрязнения.

Классификация подходов к моделированию процессов, происходящих в атмосфере [5], приведена на рис. 2.

Одним из типов моделей загрязнения атмосферного воздуха являются модели, имеющие в основе математическое описание физических процессов, происходящих в атмосфере. Подобными являются модели, построенные на базе решения уравнения турбулентной диффузии (рис. 3).

В данных моделях физические явления переноса и диффузии загрязняющего веще-

ства в атмосферном воздухе описываются уравнением

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div}(\vec{K} \text{grad}(C) - \text{grad}(C\vec{U}) + Q^c), \quad (1)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества, $\vec{K} = (k_x, k_y, k_z)$ – коэффициенты турбулентной диффузии, $\vec{U}(u, v, w)$ – вектор осредненного поля скоростей воздушной среды; Q^c – источник загрязнения [1].

Для математической постановки задачи решения уравнения (1) необходимо задание начальных и граничных условий, выбор которых обусловлен типом источника загрязнения и характеристиками поверхности.

Получить решение уравнения (1) возможно только при некоторых допущениях и ограничениях, либо используя численные методы.

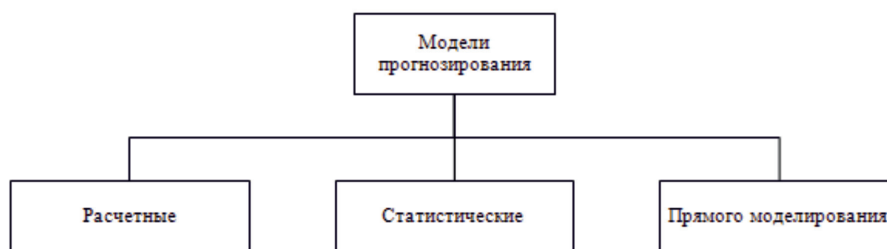


Рис. 2. Классификация моделей загрязнения атмосферного воздуха

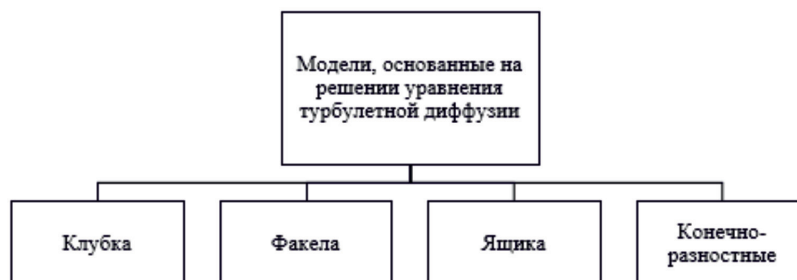


Рис. 3. Модели, основанные на решении уравнения турбулентной диффузии

Допустив в уравнении (1) отсутствие распространения частиц загрязняющих веществ с воздушными потоками, неоднородность атмосферы, а также предположив нахождение источника загрязнения вне области, получим уравнение

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}. \quad (2)$$

Фундаментальное решение этого уравнения представляет собой Гауссову кривую и используется в моделях «клубка» и «факела» [5].

В модели клубка предполагается, что источник загрязнения действует мгновенно. Перенос выброса загрязняющих веществ под влиянием ветра представляется в движущейся системе координат.

Модель «клубка» имеет следующий вид:

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\left(\frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y-vt}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{z-wt}{\sigma_z} \right)^2 \right) \right], \quad (3)$$

где x, y, z – координаты центра «клубка», определяющие траекторию его движения; u, v, w – средние значения скоростей ветра по направлениям x, y, z в момент времени t ; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – стандартные отклонения размеров «клубка» в направлениях x, y, z соответственно; Q – количество загрязняющего вещества, выделенного источником в момент времени t .

Модель «клубка» имеет некоторые недостатки, такие как необходимость многочисленных измерений скоростей ветра по направлениям x, y, z , сложности выявления

параметров клубка загрязняющих веществ (высота центра, отклонения размеров по направлениям), сложность программной реализации [1].

Рассмотрим модель «факела». В данной модели предполагается, что источник точечный и действует непрерывно.

Модель «факела» применяют в случае выброса загрязняющих веществ от различных по высоте точечных источников, температура и характер выбросов не учитываются [6].

Модель факела имеет следующий вид:

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)u} \left(\exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y(x)} \right)^2 \right] \right) \left(\exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] \right), \quad (4)$$

где $C(x, y, z, H)$ – распределение концентрации по координатам x, y, z , Q – скорость выделения загрязняющего вещества; u – средняя скорость ветра; $\sigma_y(x), \sigma_z(x)$ – стандартные

отклонения размеров «факела» в горизонтальном и вертикальном направлениях при данном x , $H = h + \Delta h$ – эффективная высота подъема факела; h – высота трубы; Δh – подъем факела вследствие его плавучести [5].

При рассмотрении модели будем учитывать следующие допущения [6]:

- в пределах рассматриваемой области погодные условия однородны и не изменяются с течением времени;
- химические реакции с загрязняющим веществом не происходят;
- загрязняющее вещество не поглощается поверхностью;
- на рассматриваемой области поверхность плоская.

Модель «факела» относительно проста и позволяет рассчитывать концентрации загрязняющих веществ по ограниченному количеству параметров, которые определяются экспериментально, что является ее главным достоинством. Как показывает опыт исследований, данная модель может применяться в 70 % метеорологических ситуаций [4].

Модель «ящика» используется для приближенной оценки уровня загрязняющего вещества от источников с большой поверхностью.

Данная модель имеет вид

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x} + Q^c. \quad (5)$$

$$\text{Для } \frac{dC}{dt} = 0.$$

$$C = \frac{Q^c}{ulh}, \quad (6)$$

где l – ширина «ящика», h – высота, C – средняя концентрация у задней (по направ-

лению ветра) стенки «ящика»; u – средняя скорость ветра через «ящик».

При использовании численных методов решения уравнения диффузии получают «конечно-разностные» модели. Модели, полученные таким способом, не зависят от параметров источников, среды, граничных условий.

Основным недостатком этих моделей является сложность определения их устойчивости и точности, а также большая вероятность ошибок вычислений.

В данной работе рассматривается программная реализация модели «факела». Программа выполнена на языке C++ в среде разработки Borland C++ Builder 6.0.

Меню программы «Модель загрязненности атмосферного воздуха» состоит из трех пунктов: Файл, Расчет, Помощь. Содержимое пунктов меню приведено на рис. 4. Программа позволяет как загружать параметры расчета из файла, так и вводить их с клавиатуры. Также приведена подробная инструкция по работе с программой.

Главное окно программы представляет собой три области для заполнения параметров и одну для вывода рассчитанных результатов. Левая верхняя область содержит поля для ввода параметров атмосферы: скорость и направление ветра. Справа расположена область для ввода параметров источников загрязнения. При запуске программы в поле ввода «Номер источника» устанавливается значение «1». Далее следует заполнить поля для координат источника, скорости загрязнения, высоты трубы и высоты факела. При нажатии на кнопку «Сохранить» происходит сохранение параметров текущего источника, сброс значений в полях ввода и автоматическое изменение поля «Номер источника» на следующее значение номера.

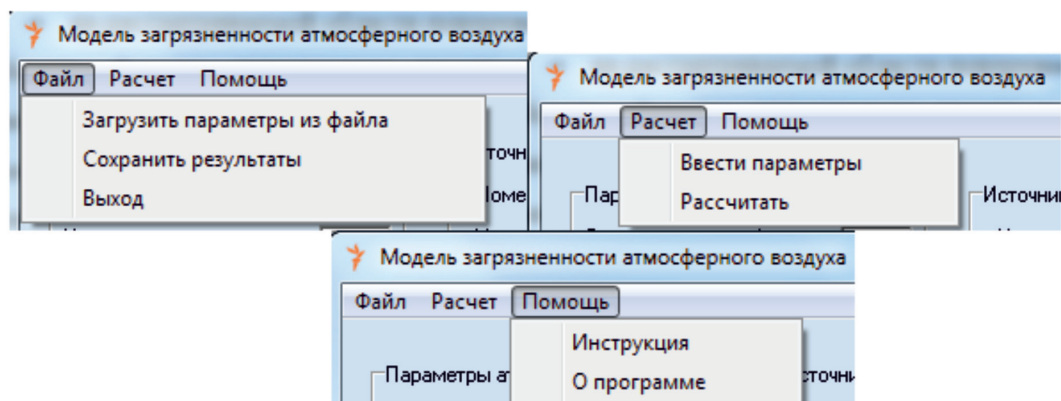


Рис. 4. Содержимое пунктов меню

Рис. 5. Основное окно

В левой нижней области находятся поля для ввода координат точки замера. После заполнения всех данных для каждого источника следует нажать на кнопку «Рассчитать».

В нижней части главного окна расположено поле для вывода результатов. В этом поле накапливаются значения рассчитанных концентраций загрязняющих веществ для каждой точки замера. Результаты работы программы можно сохранить в текстовый файл. Данный файл содержит результаты для каждой точки замера: введенные параметры атмосферы, количество источников загрязнения и их параметры в соответствии с порядковым номером, а также координаты точки замера.

Входной файл для загрузки параметров должен содержать следующие данные в заданном порядке: скорость ветра, направление ветра, координаты точки замера по трем направлениям, количество источников и для каждого источника соответственно номер текущего источника, координаты источника по трем направлениям, скорость загрязнения, высота трубы, высота факела.

Главное окно программы с заполненными полями ввода и рассчитанными ре-

зультатами для пяти точек замера приведено на рис. 5.

В данной работе рассмотрены различные модели распространения загрязняющих веществ, описывающие состояние атмосферного воздуха с использованием различных математических подходов, учитывающих виды загрязнения, параметры выбросов, метеорологические, топографические и другие условия, влияющие на рассеивание загрязняющих веществ. Приведены ключевые требования, предъявляемые к моделям загрязнения атмосферного воздуха. Рассмотрены этапы построения и классификация моделей загрязнения атмосферного воздуха.

Программно реализована модель «факела». Разработанная программа предоставляет возможность вычислять концентрацию загрязняющих веществ в точке замера. Результаты, полученные при моделировании, подтверждены экспериментально.

В дальнейшем предполагается создать автоматизированную систему, позволяющую выполнять как оперативное прогнозирование уровня загрязненности атмосферного воздуха, так и долгосрочное планирование.

Список литературы

1. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий. – М.: Химия, КолосС, 2006. – 416 с.
2. Баранова М.Е., Гаврилов А.С. Методы расчетного мониторинга загрязнения атмосферы мегаполисов // Естественные и технические науки. – М.: ООО «Издательство «Спутник+», 2008. – № 4. – С. 221–225.
3. Плотникова Л.В. Экологическое управление качеством городской среды на высокоурбанизированных территориях. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 239 с.
4. Цыплакова Е.Г., Потапов А.И. Оценка состояния и управление качеством атмосферного воздуха: учебное пособие. – СПб.: Нестор-История, 2012. – 580 с.
5. Тюриков Б.М., Шкрабак Р.В., Тюрикова Ю.Б. Моделирование процессов распространения загрязняющих вредных веществ в воздухе рабочих зон производственных площадок предприятий АПК / Б.М. Тюриков, Р.В. Шкрабак, Ю.Б. Тюрикова // Вестник Саратовского ГАУ. – 2009. – № 10. – С. 58–64.
6. Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере на основании модели «факела» / Кондраков О.В. [и др.] // Вестник Тамбовского университета. – 2011. – Т. 16, № 1. – С. 196–198.