

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ПРИМЕСЕЙ ОТ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Т.Ю. Ткаченко

Донецкий национальный технический университет
кафедра прикладной математики и информатики

senyorita999@yandex.ru

Аннотация

Ткаченко Т.Ю. Применение математических моделей для оценки распространения в атмосфере примесей от точечных источников. В работе проанализированы математические модели загрязнения воздуха, а также существующие программные реализации для моделей распределения примесей.

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из самых серьезных экологических проблем многих промышленных городов мира. При анализе процессов загрязнения атмосферы городов весьма существенно различие между загрязнениями, производимыми стационарными и мобильными источниками.

Точечным стационарным источником загрязнения является источник, сосредоточенный в определенном месте и выбрасывающий загрязняющие атмосферу вещества из установленного отверстия. Стационарные источники выбрасывают в воздух главным образом сернистый газ, окислы азота, а также некоторое количество угарного газа, фенолов, серной кислоты и других загрязняющих веществ в зависимости от специфики промышленного производства города и состава используемого в нем топлива. Относительно недавно стационарные источники выбрасывали в атмосферу значительное количество пыли разнообразного химического состава, но в настоящее время существующие газоочистные установки задерживают более 95% всех твердых частиц, образующихся при сгорании топлива, но практически не улавливают газовых составляющих [1].

Другой особенностью стационарных источников является то, что их сбросы в атмосферу, в отличие от мобильных источников, происходят, как правило, на большой высоте, что приводит к тому, что производимые ими загрязнения распространяются на большой территории.

Для получения достоверной экологической информации о состоянии атмосферного воздуха используются различные методы анализа состояния окружающей среды.

Методы анализа состояния окружающей среды

Анализ осуществляется путем решения следующих задач.

Задача мониторинга

Основные задачи экологического мониторинга:

- наблюдение за источником антропогенного воздействия;
- наблюдение за фактором антропогенного воздействия;
- наблюдение за состоянием природной среды под влиянием факторов антропогенного воздействия и оценка прогнозируемого состояния природной среды [2].

Задача прогнозирования

Для прогноза качества воздуха используется большое разнообразие методик – от простейших до комплексных. На данный момент большинство из них направлены на проведение краткосрочного – от 1 до 3 дней – прогнозирования концентрации загрязняющих веществ. Методики прогнозирования загрязнения делятся на три большие категории.

Климатологические методы. Использование климатологии для прогнозирования качества воздуха базируется на предположении, что прошлое хорошо предсказывает

будущее. Этот подход основан на взаимосвязи повышенных уровней загрязнения с определенными метеорологическими условиями.

Статистические методы. Взаимосвязь между определенными метеорологическими параметрами и состоянием воздуха может быть определена количественно, используя множество статистических методик. Для прогнозирования они фактически являются наиболее общими.

Классификации и дерево регресса (CART). Эта методика основана на использовании специализированного программного обеспечения для идентификации тех переменных, которые наиболее тесно связаны с уровнями загрязнения окружающей среды.

Регрессионный анализ. Взаимосвязь между уровнем загрязнения и метеорологическими и аэрометрическими переменными может быть определена количественно с помощью анализа наборов ретроспективных данных, используя стандартные статистические пакеты анализа.

Искусственные нейронные сети. Еще один метод анализа ретроспективных данных, состоящий в том, чтобы идентифицировать атмосферные параметры, которые влияют на качество воздуха и количественно оценить это влияние с помощью приложений, использующих такой метод адаптивного обучения и распознавания образов, как нейронные сети.

Трехмерные (3-D) модели. Хотя методики, описанные выше, имеют много преимуществ, у них есть один общий недостаток. Они предполагают некоторую стабильность процессов, определяющих состояние воздуха. Любые климатические изменения (краткосрочное или долгосрочное) либо изменение количества выбросов снижают эффективность этих методик. Один из путей решения данной проблемы состоит в том, чтобы использовать более детерминированный подход в прогнозировании качества воздуха. Детерминированные 3-D модели состояния воздуха стремятся математически представить все важнейшие процессы, влияющие на уровень загрязнения окружающей среды. Примеры таких подмоделей следующие.

Модели выбросов. Моделируют во времени пространственное распределение выбросов примеси загрязняющего вещества, и/или (в случае вторичных загрязнителей, таких) предшествующих выбросов, вызванные антропогенными или естественными источниками.

Метеорологические модели. Прогнозируют метеорологические условия, влияние химических факторов (солнечной активности, температуры, влажности, и т.д.), излучений (например, температура), и осадков, которые определяют перенос и смешивание загрязняющих веществ.

Химические модели. Эти модели используют уровни основных параметров химической кинетики, спектроскопические свойства и термодинамические соотношения для моделирования преобразования первичного загрязнения во вторичное загрязнение, учитывая свойства композиции и морфологию (измеряемые дистрибутивные и оптические свойства) аэрозолей [3].

В зависимости от метода, используемого для моделирования распределения концентрации загрязнения с течением времени трехмерные модели качества воздуха делятся на ряд моделей, использующих математические алгоритмы.

Алгоритм Гауссовой модели. Алгоритм Гауссовой модели является наиболее распространенным в моделировании анализа воздушной дисперсии. Он основан на предположении, что загрязнитель будет расходиться в соответствии с нормальным распределением статистики. Общее Гауссовское уравнение [4]:

$$\frac{dC}{dt} + U \frac{dC}{dx} = \frac{d}{dx} \left(K_y \frac{dC}{dy} \right) + \left(K_z \frac{dC}{dz} \right) + S,$$

где:

x - измеренная координата от источника вдоль направления ветра;

y - измеренная координата от источника перпендикулярно направлению ветра;

z - вертикальная координата, отсчитываемая от почвы;

C(x,y,z) - средняя концентрация дисперсного вещества при (x, y,z) точки;

K_y,K_z - распространение турбулентности по направлениям осей y и z;

U - средняя скорость ветра вдоль оси x;

S - источник / определение откачки.

Алгоритм модели Эйлера. Модель Эйлера решает уравнение сохранения массы для данного загрязнителя.

Общее уравнение выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial(C_i)}{\partial t} = -\bar{U}\nabla(C_i) - \nabla(C_i') + D\nabla^2 \langle C_i \rangle + \langle S_i \rangle ,$$
$$U = \bar{U} + U'$$

где:

\bar{U} - главный вектор ветра U (x, y, z);

\bar{U} - средний вектор области ветра;

U' - вектор колебаний области ветра;

C - концентрация загрязняющего вещества;

$C = \langle C \rangle + C'$

$\langle C \rangle$ - средняя концентрация загрязняющего вещества;

C' - концентрация загрязняющего вещества в колебании;

D – молекулярный коэффициент диффузии;

S_i - начальный элемент.

Алгоритм модели Лагранжа. Алгоритм модели Лагранжа предсказывает дисперсию загрязняющего вещества, зная изменение базовой решетки. Это изменение базовой решетки в целом зависит от того, что направление ветра или вектор поля ветра попадает на направление загрязняющего облака. Модель Лагранжа может быть представлена следующим образом [5]:

$$\langle c(r,t) \rangle = \iint_{-\infty} p(r,t | r',t') S(r',t') dr' dt' ,$$

где:

$\langle c(r,t) \rangle$ - является средней концентрацией загрязняющего вещества в месте r и времени t;

$S(r',t')$ - определяет источник выброса;

$p(r,t | r',t')$ - функция вероятности для объема воздуха, чтобы перейти от места r' и времени t' к месту r и времени t.

Алгоритм модели Ханна. Данная модель основана на формуле для оценки самой высокой концентрации загрязняющего вещества испускаемого от точечного источника по направлению ветра [6]:

$$C_{wc} = \frac{10^9 Q}{UH_{wc} W_{wc}}$$

где:

Q - скорость выброса газа или частицы/ порошка, в кг / с;

C_{wc}- наибольшая концентрация в мг / м³;

U - наиболее опасные скорости ветра на высоте Z = 10 м, как правило, 1 м / с;

W_{wc} - наибольшая ширина загрязняющего облака, в метрах, обычно дается W = 0,1 x, где x - расстояние от источника;

H_{WC} - наибольшая глубина загрязняющего вещества облака, в метрах, считаются полезными при 50 м.

Алгоритм Vox – модели. Алгоритм Vox – модели является наиболее простым. Он рассматривает осадок воздуха имеющего форму коробки. Считается, что воздух внутри коробки имеет однородную концентрацию. Алгоритм vox-модели может быть представлен следующим уравнением [7]:

$$\frac{dCV}{dt} = QA + uC_{in}WH - uCWH,$$

где:

Q - связь выбросов загрязняющих веществ на единицу поверхности;

C - концентрация однородных типов внутри осадка;

V – объем, описанный коробкой;

C_{in} - концентрация вида загрязнения, который попадает в осадок;

A – горизонтальная поверхность коробки (L x W);

L – длина коробки;

W – ширина коробки;

u - скорость ветра, действующая перпендикулярно на коробку;

H - высота перемешивания.

В свою очередь, некоторые из представленных алгоритмов составляют основу двух больших классов моделирования качества воздуха.

Классификация моделей загрязнения атмосферного воздуха

По данным [8] для моделирования качества атмосферного воздуха применяются модели распространения примесей в атмосфере, которые подразделяются на 2 соответствующих класса:

- модели рассеивания примесей в атмосфере;

- модели загрязнения атмосферного воздуха.

Модели рассеивания описывают процессы турбулентной диффузии в атмосфере и представляются следующей классификацией: эйлеровы, лагранжевы и гауссовы модели, позволяющие численно решать уравнения атмосферной диффузии.

К моделям загрязнения атмосферного воздуха также можно отнести полуэмпирические модели, базирующиеся, главным образом, на эмпирической параметризации; стохастические модели; рецепторные модели.

Из вышесказанного видно, что в основе моделей рассеивания лежат модели Эйлера, Лагранжа, Гаусса. Кроме того все модели построенные на основе рассмотренных уравнений классифицируются, соответственно, по масштабам атмосферных процессов, а именно: макромасштаб (масштаб протяженности > 1000 км), мезомасштаб (1 км < масштаб протяженности < 1000 км), микромасштаб (масштаб протяженности < 1 км).

Можно также сказать, что рассматриваемые модели являются базисным математическим аппаратом, который применяется для построения математической стороны модели. Но в ходе анализа источника [9] было выяснено, что реальные спроектированные модели распространения различных загрязнителей в атмосфере представляют собой супермодели, у которых за основу взят какой-либо из рассмотренных алгоритмов с различными дополнениями в виде математических уравнений, описывающих турбулентность, осаждение и т.д.

Необходимо также отметить, что сложные математические модели распространения загрязняющих веществ в атмосфере проектируются под конкретную задачу и разрабатываются конкретными организациями или научно-исследовательскими институтами. Наиболее известными реализациями моделей рассеяния газов являются методика Всемирного банка, методики класса HGSYSTEM, методики, созданные такими

организациями как TNO (Голландия), Det Norske Veritas (DNV Technica) (Норвегия), U. S. Environmental Protection Agency (EPA – агентство защиты окружающей среды США), NIST (Национальный институт стандартов и технологий США), методики класса DEGADIS. На основании анализа источника [9] можно сделать вывод о том, что данные модели являются наиболее рекомендованными в различных странах для определения концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. Рассмотренные модели в большей мере конкретизированы для определенных задач и ориентированы на однопроцессорные системы.

Выводы

В результате исследования установлено, что построение единой классификации моделей распространения примесей от точечных источников представляет трудноразрешимую задачу в виду многогранности и многоаспектности подходов к моделированию. В работе предпринята попытка упорядочить множественные подходы к решению данной задачи. Можно утверждать, что модели, используемые на практике, являются, во-первых, специализированными, а во-вторых – интегральными.

Установлено, что возникающая на практике задача моделирования в больших масштабах при учете большого числа факторов и т.п. требует значительных вычислительных ресурсов, прежде всего это связано с необходимостью решать системы уравнений большой размерности. Анализ существующих программных реализаций для моделей распространений примесей позволяет утверждать, что лишь незначительное их число предлагается в виде реализации для многопроцессорных систем. В связи с этим можно утверждать, что реализация данных моделей, особенно моделей на основе уравнений вычислительной гидродинамики, на параллельных компьютерных системах представляет собой актуальную научную задачу.

Литература

1. Экология окружающей среды [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.ecomir.net/show/1270/>
2. Мониторинг состояния окружающей среды. Нормирование качества окружающей среды [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2002/feht/lukina/library/index10.htm>
3. Прогноз качества воздуха. Обзор федеральных программ и потребностей исследования [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2009/fvti/daikun/library/translate.htm>
4. Disperse Stack, P&I Design Ltd, Thornaby, UK, 2003
5. Enescu Maria, The elements of the dispersion theory applied to the mathematical shaping of the atmosphere pollution by high burning installation – i.m.a. Proc. International conference "The knowledge society in the space of united Europe" May 29th - 30th, 2009, Timioara, ROMANIA.
6. Cole, C., F, Fabrick, A., J, Surface mine pit retention, Journal of Air Pollution Control Association, 34(6), p. 674-675, 1984;
7. Collett, R.,S., Oduyemi, K., Air Quality Modeling: A Technical Review of Mathematical Approaches, Meteorological Application, 4(3), 1997, p. 235-246;
10. Региональные публикации ВОЗ, Европейская серия, № 85
8. Zannetti, P. Numerical simulation modelling of air pollution: an overview. Air pollution. Southampton, Computational Mechanics Publications, 1993, pp. 3–14.
9. Alternative Models [электронный ресурс], режим доступа: http://www.epa.gov/scram001/dispersion_alt.htm