

УДК: 004.9:502.3

Информационные технологии в моделировании решения задач охраны окружающей среды

О.В. Сташок

Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

Olazar@yandex.ru

Статья поступила 10.02.2014, принята 11.04.2014

Проанализирована проблема обработки и учета большого количества метеорологической информации, необходимой при построении адекватных математических моделей в решении задач охраны окружающей среды. Эффективность решения ряда промежуточных задач посредством использования современных математических пакетов определяется спецификой решаемой проблемы и наличием знаний в области компьютерной алгебры. Разработан программный продукт, позволяющий обрабатывать ветровой режим любого региона. В его основе лежит численный метод Симпсона для вычисления двойного интеграла – вектора скорости ветра, где интегрирование ведется по средней скорости и по направленности на местности. Применение какого-либо математического пакета в данном случае не совсем рационально, целесообразнее произвести расчет численно, поскольку вычисления ведутся во вращающейся полярной системе координат, где промежуточные коэффициенты инвариантны повороту осей. Программа может использоваться исследователями при решении промежуточных задач моделирования в области охраны окружающей среды и как самостоятельный продукт, предназначенный для проведения статистической обработки метеорологических данных. Результаты численного решения хорошо согласуются с аналитическими выкладками, что подтверждает его точность и пригодность к использованию. Программа имеет удобный интерфейс, не требует наличия дополнительных знаний.

Ключевые слова: атмосфера, моделирование, прогнозирование, метеорологические параметры, ветровой режим.

Information technologies in modeling the solutions of environmental protection problems

O.V. Stashok

Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

Olazar@yandex.ru

Received 10.02.2014, accepted 11.04.2014

The problem of processing and accounting a large number of meteorological information required for constructing adequate mathematical models for solving environmental protection problems has been analyzed in the article. The efficiency of a solution of a number of intermediate targets by using modern mathematical packages is determined by the specifics of the problem solved and the knowledge in the field of computer algebra. The software program, allowing to process the wind regime of any region, has been developed. It is based on Simpson's numerical method for calculating the double integral – wind speed vector, with integration on medium speed and on territorial direction. The use of any mathematical package is not rational in this case. It is better to calculate numerically because the calculations are made in a rotating polar system of coordinates, where intermediate coefficients are invariable to rotation axis. The program can be used by researchers to solve intermediate modelling problems in the field of environmental protection, and as a standalone product, intended for statistical processing of meteorological data. The results of numerical solutions are in good agreement with analytical ones, which confirms their accuracy and usability. The program has convenient interface and does not require any additional knowledge.

Keywords: atmosphere, modelling, forecasting, meteorological parameters, wind regime.

Введение. В настоящее время компьютерные технологии применяются во всех областях и сферах научных интересов. В частности, актуально применение информационных технологий при анализе состояния окружающей среды, оценке степени антропогенного загрязнения воздушного бассейна крупных городов и промышленных центров, поскольку задачи охраны окружающей среды требуют широкого применения математических методов и приемов вычислений, оперируют результатами обработки широкого спектра данных, требуют автоматизированного подхода для дальнейшего использования.

На современном этапе развития информационных технологий у исследователей довольно популярны различные математические пакеты, позволяющие автоматизировать процесс вычислений при решении прикладных задач.

В моделировании экологических ситуаций, метеорологических процессов широко применяются известные математические пакеты: Maple, MATLAB, MathCAD и Mathematica и другие.

Главное достоинство математических пакетов состоит в том, что можно подвергнуть многогранному исследованию сложные ситуации, особенно в природоохранной деятельности, связанные с учетом большого количества факторов; смоделировать

различные сценарии развития тех или иных процессов, включая аварийные. Громоздкие вычисления в данном случае будут переданы соответствующим автоматизированным системам. Однако следует иметь в виду, что эффективность использования систем компьютерной алгебры определяется наличием хороших знаний информационных технологий в решении различных задач.

На практике некоторые популярные математические пакеты, включающие в себя языки программирования, трудны в использовании и требуют длительного времени на изучение, пользовательский интерфейс сложен, в нем легко допустить ошибки, которые вынуждают проверять и отлаживать весь код. Программирование не визуально и не интерактивно, невозможно поменять несколько строк в программе и автоматически увидеть результаты. Для этого пользователям потребуется перекомпилировать и перезапустить программу.

Обоснование разработки программного продукта. Во многих случаях при решении промежуточных задач моделирования развития ситуаций, происходящих в окружающей среде, предпочтение отдается применению численных методов, в частности, при отыскании различного рода интегральных характеристик, которые являются основой современных моделей и методик.

Внимание ученых многих стран в настоящее время сконцентрировано на проблеме оценки степени антропогенного загрязнения воздушного бассейна крупных городов и промышленных центров. В связи с массивным загрязнением атмосферы вопросы ее охраны из региональных и внутригосударственных масштабов выросли до международной проблемы.

Существующие недостатки нормативных методик определяют потребность в постоянном обновлении, в противном случае, официальная регламентация, призванная установить нижнюю планку качества экологической экспертизы, может угрожающе лимитировать качество экспертизы в целом [1, 2].

Развитие методов прогнозирования загрязнения воздуха основывается на результатах теоретического и экспериментального изучения закономерностей распространения примесей от источников. Это изучение ведется по двум направлениям: первое – это разработка теории атмосферной диффузии на основе математического описания распространения примесей с помощью уравнения турбулентной диффузии. Второе связано с эмпирико-статистическим анализом распространения загрязняющих веществ в атмосфере с использованием для этой цели интерполяционных моделей гауссовского типа [3].

Вопросам охраны окружающей среды посвящен большой цикл исследований, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом. Изучением данного вопроса занимались Е.М. Алоян (2005), А.В. Аргучинцева, В.К. Аргучинцев (2004), М.Е. Берлянд (1975, 1985), Г.И. Марчук (1982, 1992), А.С. Монин

(1982, 1988), В.В. Пененко (1981), Л.Р. Сонькин (1991), А.М. Яглом (1992) и др.

Подробно изучены методы и подходы в определении средних концентраций при удалении от источников загрязнения; приемы определения дальности переноса опасных субстанций от источников загрязнения с учетом специфики производств, метеорологических и орографических особенностей местности; особенности воздействия вредных ингредиентов, содержащихся в атмосфере, на растительные сообщества.

Определенную сложность при описании указанных природных процессов вызывает учет большого количества различных параметров, большая часть которых имеют вероятностный характер, и, соответственно, требуют дополнительной обработки за многолетние периоды.

При математическом моделировании процессов переноса и распространения загрязняющих веществ в воздушном бассейне города обязательно нужно учесть параметры среды: градиенты температуры (вертикальный и горизонтальный), направление и скорость ветра, облачность, температурную стратификацию атмосферы, значения фоновых концентраций примесей в воздухе. Необходимо отметить, что ветер является очень значимым параметром, поскольку его скорость отражает не только механизм переноса примесей, но и характеризует атмосферную диффузию [4, 5].

Ветровой режим является основополагающим параметром, поскольку определяет направление и перенос вредных примесей от источников загрязнения.

Основная трудность при учете указанной климатической характеристики состоит в том, что использование эмпирических законов распределения за многолетний месяц (сезон) ведет к большому объему вводимой информации. Несомненно, современные математические пакеты позволяют детально обработать такие массивы данных, но в основном на предмет получения статистических оценок.

Статистическая обработка ветрового режима не обеспечивает исследователя всеми необходимыми сведениями для построения прогнозов распространения примесей в воздушном бассейне.

При вероятностном моделировании для описания ветрового режима наиболее распространенным является нормальный теоретический закон распределения. Соответственно, для того, чтобы рассчитать в каждой точке рассматриваемой местности вероятностную реализацию того или иного направления, необходимо исследовать интегральную характеристику – путем интегрирования двумерной функции плотности вероятности. Поэтому, многие ученые в своих исследованиях поведение вектора скорости ветра аппроксимируют теоретическим законом распределения, основываясь на многолетних эмпирических числовых характеристиках.

Решение поставленной задачи сводится к вычислению двойного интеграла – по средней скорости ветра и по направленности на местности [3]:

$$F(\rho, \theta) = \int_0^{u_k} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi L} \exp(-L_2 \rho^2 + L_1 \rho - L_0) \rho d\rho d\theta,$$

где $L = \sigma_u \sigma_v \sqrt{1 - r^2}$,

$$L_0 = \frac{1}{2L^2} (\sigma_u^2 \bar{v}^2 - 2r\sigma_u \sigma_v \bar{u} \bar{v} + \sigma_v^2 \bar{u}^2),$$

$$L_1 = \frac{1}{L^2} [(\sigma_v^2 \bar{u} - r\sigma_u \sigma_v \bar{v}) \cos\theta + (\sigma_u^2 \bar{v} - r\sigma_u \sigma_v \bar{u}) \sin\theta],$$

$$L_2 = \frac{1}{2L^2} (\sigma_u^2 \sin^2\theta - 2r\sigma_u \sigma_v \sin\theta \cos\theta + \sigma_v^2 \cos^2\theta).$$

Данный двойной интеграл по скорости аналитическими методами можно свести к одинарному:

$$F\left(\frac{\theta}{u_k}\right) = \frac{1}{4\pi L} \int_0^{2\pi} \frac{1}{L_2} \exp\left(\frac{L_1^2 - 4L_0 L_2}{4L_2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{L_1^2}{4L_2}\right) - \exp\left[-L_2 \left(u_k - \frac{L_1}{2L_2}\right)^2\right] + \frac{L_1 \sqrt{\pi}}{2\sqrt{L_2}} \operatorname{erf}\left[\sqrt{L_2} \left(u_k - \frac{L_1}{2L_2}\right)\right] + \frac{L_1 \sqrt{\pi}}{2\sqrt{L_2}} \operatorname{erf}\left(\frac{L_1}{2L_2}\right) \right\} d\theta.$$

Решать данный интеграл в каком-либо математическом пакете не совсем рационально, целесообразнее произвести расчет численно, поскольку вычисления ведутся во вращающейся полярной системе координат, где промежуточные коэффициенты инвариантны повороту осей.

Сущность большинства методов вычисления определенных интегралов состоит в замене подынтегральной функции аппроксимирующей функцией, для которой можно легко записать первообразную в элементарных функциях.

На практике чаще всего применяют интерполяцию полиномами. Это связано прежде всего с тем, что полиномы легко вычислять, легко аналитически находить их производные, и множество полиномов плотно в пространстве непрерывных функций.

Разработан программный продукт, где для вычисления указанного интеграла запрограммирован численный метод (метод Симпсона).

Шаг численного интегрирования равен $22,5^\circ$, что позволяет привести расчеты в соответствие с шестнадцатирумбовой градацией, принятой в метеорологии, более детально описывающей изменения направления вектора скорости ветра.

Результаты численного решения хорошо согласуются с аналитическими выкладками, что подтверждает точность и пригодность к использованию программы. Она имеет удобный интерфейс, проста и удобна в использовании и не требует дополнительных знаний, в отличие от многих математических пакетов.

В качестве входной информации для работы с программой выступает файл с данными наблюдений метеорологических станций по направлениям и скорости ветра. Процедуры, прописанные в программе, производят статистическую обработку любого количества данных наблюдений.

В качестве выходных параметров используются следующие величины: средние значения компонентов вектора скорости ветра; средние квадратические отклонения по каждой компоненте; коэффициент корреляции.

После проведенных расчетов производится построение вероятностной диаграммы реализации ветрового режима (рис. 1). По желанию пользователя, согласно расчетным данным диаграмму реализации направлений ветрового режима программа может построить в более привычном виде розы ветров.

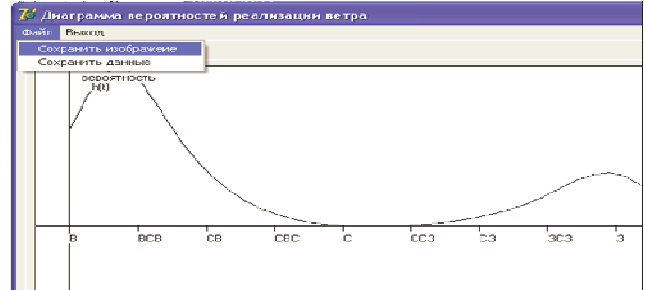


Рис. 1. Сохранение данных и изображения

В программе предусмотрено сохранение данных статистической обработки (формат *.txt) и графической информации (формат *.bmp) в соответствующие файлы, что обеспечивает их хранение и дальнейшее использование при проведении исследований.

Выводы

Преимущество и наглядность разработанного программного продукта состоят в том, что позволяют для любого временного периода рассчитать наиболее вероятное направление ветра.

Программа может использоваться исследователями при решении промежуточных задач моделирования в области охраны окружающей среды, причем без затрат времени на статистическую обработку метеорологических данных и проведения громоздких математических расчетов, а также как самостоятельный программный продукт.

Следовательно, это определяет широкий спектр ее возможного применения:

- исследователями, занимающимися вопросами моделирования в области решения задач охраны окружающей среды как в самостоятельном виде, так и в качестве составного элемента любой модели;
- метеорологами, для составления прогнозов поведения климатических характеристик;
- ведущими специалистами промышленных предприятий, для разработки мероприятий, направленных на сокращение производственных мощностей в периоды неблагоприятных метеорологических периодов для рассеяния примесей;
- специалистами экологических организаций, для принятия эффективных мер, направленных на оздоровление экологической ситуации селитебных территорий промышленных городов.

Литература

1. Указания по расчету рассеивания в атмосфере веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1975. 40 с.
2. Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы (версия 1.1.0.). Инструкция пользователя по методике ОНД - 86. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 29 с.
3. Аргучинцев В.К., Аргучинцева А.В. Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере

региона оз. Байкал: моногр. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. 255 с.

4. Held A., Hinz K-P, Trimborn A., Spindler B., Klemm O. Straightness measurement whirlwind vertical stream quotient particle atmosphere substantial // *Goophys. Res. Len.* 2003. № 19. С. 4.

5. Сташок О.В. Анализ экологической обстановки города с развитой промышленной инфраструктурой (на примере города Братска) // *Экология и промышленность России.* 2009. № 5. С. 53-55.

References

1. Ukazaniya po raschetu rasseivaniya v atmosfere veschestv, soderzhaschihsya v vybrosah promyshlennyh predpriyatij. M.:Stroyizdat. 1975. 40 s.

2. Unifitsirovannaya programma rascheta zagryazne-niya atmosfery (versiya 1.1.0.) instruktsiya pol'zovatelya po metodike OND -86. L.: Gidrometeoizdat. 1990. 29 s.

3. Arguchintsev V.K., Arguchintseva A.V. Modelirovanie mezomasshtabnyh gidrotermodynamicheskikh pro-tsessov i perenosa antropogennyh primesey v atmosfere i gidrosfere regiona oz. Baykal. Irkutsk : Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2007. 255 s.

4. Held A., Hinz K-P, Trimborn a., Spindler B., Klemm O. Straightness measurement whirlwind vertical stream quotient particle atmosphere substantial. *Goophys. Res. Len.* 2003. №19. С. ASC 8/4.

5. Stashok O.V. Analiz ekologicheskoy obstanovki goroda s raz-vitoy promyshlennoy infrastrukturoy (na primere goroda Bratska) / *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2009. May. s. 53-55.