

**ПОСТРОЕНИЕ ИЗОЛИНИЙ И ИЗОКОНТУРОВ
НА ПОЛЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ВЫБРОСА
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

А. Н. Маренков

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 20.05.2008 г.

Аннотация. Важнейшей задачей экологических геоинформационных систем является задача расчета результатов выброса загрязняющих веществ. Для удобного отображения эти результаты традиционно возвращаются в виде сетки (поля) значений концентраций. В статье рассматривается задача построения изолиний и изоконтуров на поле результатов расчета выброса загрязняющих веществ. Приводится подробное описание разработанного алгоритма построения. Дается сравнение найденного решения с существующими российскими аналогами, и намечаются пути дальнейшего развития алгоритма.

Ключевые слова: геоинформационная система, выброс загрязняющих веществ, построение изолиний и изоконтуров.

Abstract. The most important task of ecological geoinformational systems is pollutant emissions calculation. Commonly these results are returning in the form of net (field) of concentration values for more comfortable visualization. The main issue of the paper is a task of building isolines and isocontours under the resulting field of pollutant emissions calculation. Detailed description of developed building algorithm is given. Comparison between found decision and existing Russian analogues is made; the path of future algorithm evolution is outlined.

Key words: geoinformational systems, pollutant emissions calculation, building isolines and isocontours

ВВЕДЕНИЕ

Современные экологические геоинформационные системы выполняют широкий спектр задач. Одной из них является задача расчета результатов рассеивания выброса загрязняющих веществ в атмосферу. Эти расчеты производятся на основании различных методик (основная методика — ОНД-86 [1]), но результатом расчета всегда является набор точек на географической карте с предельными концентрациями вредных веществ в этих координатах. Набор точек, в которых необходимо вычислить концентрации, задается путем создания расчетных площадок (прямоугольных сеток размером $m*s_1$ на $n*s_2$, где s_1 и s_2 — шаги вдоль длины и вдоль ширины прямоугольника соответственно) и расчетных точек (произвольно размещенные пары координат). Для визуального отображения результатов расчета рассеивания исполь-

зуется построение изолиний (замкнутых линий вдоль одной концентрации) и изоконтуров (замкнутых закрашенных областей) на поле результатов.

В настоящее время существует всего несколько российских разработок в этой области: «Роса», «Экограф» — модуль программного комплекса «Эколог», «Эра». Наиболее впечатляющие результаты дает модуль «Экограф». Однако и у этого модуля есть свои недостатки. Одна часть этих недостатков проявляется в некоторых случаях, а другая часть является следствием самого алгоритма построения изолиний и изоконтуров модуля. В связи с этим, предлагается новый вариант решения данной задачи, который описывается в этой статье.

1. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОЛИНИЙ И ИЗОКОНТУРОВ

Сама по себе задача построения изолиний и изоконтуров на поле результатов расчета вы-

броса загрязняющих веществ разбивается на группу связанных подзадач:

1. создание отрезков изолиний;
2. объединение отрезков в связанные изолинии;
3. сглаживание полученных кривых;
4. выделение изоконтуров.

На входе алгоритм построения изолиний и изоконтуров получает набор площадок и расчетных точек. Далее для каждой площадки передаются значения концентраций в точках. Каждая ячейка площадки имеет четыре основных (узловых) и пять дополнительных точек (рис. 1а).

Все передаваемые концентрации «сажаются» в эти точки с заданной погрешностью. Таким образом, каждой из точек либо присваивается некоторая концентрация, либо точка остается не задействованной. Для узловых точек отсутствие концентрации является недопустимым, поэтому, в случае отсутствия таковой, она рассчитывается исходя из усредненного значения концентраций в соседних ячейках. Дополнительные точки могут не содержать уточняющих концентраций, в этом случае они не учитываются.

Для наглядности представим, что концентрация была назначена узловым точкам и одной из дополнительных (рис. 1б). После этого все точки соединяются отрезками. На этих отрезках, согласно заданному пользователем списку изолиний, расставляются точки с одним уровнем концентрации. На рис. 1б короткими штрихами

обозначены такие точки. Этот рисунок характерен шкале изолиний {1; 2; 3}.

После этого все точки с одинаковыми концентрациями в пределах одного элемента (треугольника, в случае на рис. 1б) соединяются отрезками. На этом этапе, существуют несколько исключительных ситуаций. Опишем наиболее критичную.

Пусть концентрации заданы только в узловых точках так, как изображено на рис. 1в. Существует два возможных варианта построения отрезков изолиний: вдоль худшей концентрации (рис. 1в) и вдоль лучшей концентрации (рис. 1г). В некоторых случаях построение вдоль лучшей концентрации дает случай, изображенный на рис. 2а.

Это является совершенно недопустимым с точки зрения физического смысла изолиний и изоконтуров, и с точки зрения методических материалов [1]. Как показали эксперименты и анализ материалов [1], использование построения вдоль худшей концентрации с некоторыми ограничениями и условиями является лучшим решением во всех ситуациях. В случае, описанном выше, он дает картину, изображенную на рис. 2б. Иногда такой подход тает картину типа «гантели», когда соединяются тонким перешейком близлежащие области высоких концентраций. Однако это не является ошибочным случаем.

Как ни странно, данный несложный анализ не был проведен при создании прочих алгорит-

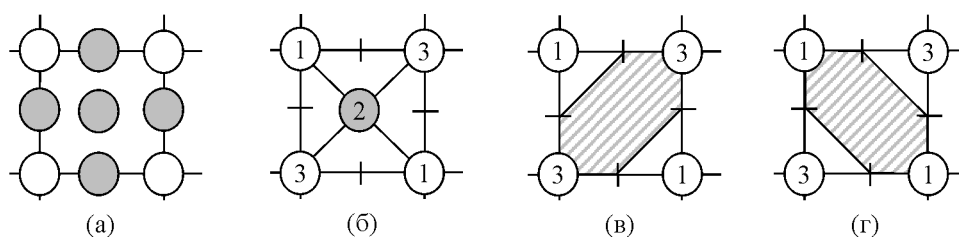


Рис. 1. Ячейка расчетной площадки

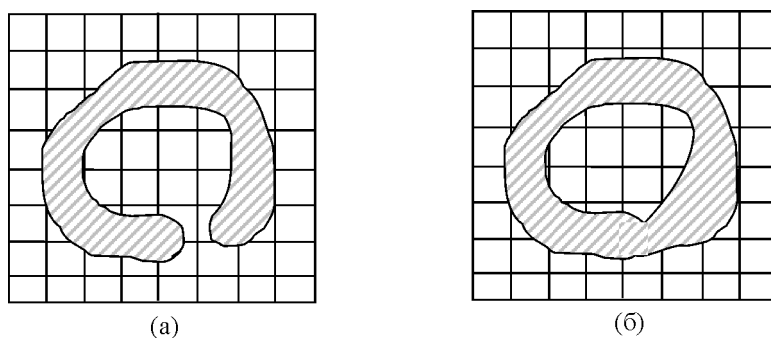


Рис. 2. Два случая построения изолиний и изоконтуров

мов построения изолиний и изоконтуров, поэтому все существующие российские аналоги имеют исключительные случаи, в которых они строят изолинии и изоконтур некорректно, как показано на рис. 2а.

Объединение отрезков изолиний в сплошные линии не представляется алгоритмически сложным. Необходимо отметить лишь, что при соединении отрезков в одну линию происходит отсеивание слишком маленьких отрезков и удаление дублирующихся точек. Эти операции производятся с использованием коэффициента погрешности, который задает пользователь. Кроме того, построение изолиний осуществляется в две стороны. То есть для каждого отрезка ищется прилегающий к нему отрезок с одного конца и с другого. Такой подход помогает оптимизировать по времени процесс сбора отрезков.

Расчеты рассеивания проводятся на регулярной координатной сетке (расчетной площадке), поэтому для изображения карты изолиний наиболее приемлемым является подход, основанный на векторной параметрической интерполяции и изложенный в [2], т.к. позволяет легко манипулировать формой кривой.

Предположим, что кубическая парабола, заданная в параметрической форме

$$\mathbf{P}(u) = \sum_{i=0}^3 a_i u^i \quad (1)$$

проходит через две точки, обозначенные соответственно $\mathbf{P}(0)$ и $\mathbf{P}(1)$, в которых известны значения производных (0) и (1). Это означает, что заданы четыре необходимых и достаточных условия для определения четырех коэффициентов в выражении (1).

Несложными математическими вычислениями можно вывести следующий набор уравнений для коэффициентов выражения (1):

$$a_0 = \mathbf{P}(0), \quad (2)$$

$$a_1 = \frac{d\mathbf{P}}{du}(0), \quad (3)$$

$$a_2 = 3[\mathbf{P}(1) - \mathbf{P}(0)] - 2 \frac{d\mathbf{P}}{du}(0) - \frac{d\mathbf{P}}{du}(1), \quad (4)$$

$$a_3 = 2[\mathbf{P}(0) - \mathbf{P}(1)] + \frac{d\mathbf{P}}{du}(0) + \frac{d\mathbf{P}}{du}(1). \quad (5)$$

Однако до сих пор не определены правила нахождения производных в точках, через которые проводится сплайн. Можно предложить

вариант, в котором в точке $\mathbf{P}(0)$ задается вторая производная, а в качестве четвертого условия сохраняется только значение кривой в точке $\mathbf{P}(1)$. Затем находятся $d\mathbf{P}(1)/du$ и $d^2\mathbf{P}(1)/du^2$ и им приравняются величины, относящиеся к следующей параболе, соответственно $d\mathbf{P}'(0)/du$ и $d^2\mathbf{P}'(0)/du^2$. Таким образом, последовательные дуги являются касательными друг к другу в общих точках.

В работе [2] показано, что для более точного определения формы кривой иногда необходимо увеличивать число задаваемых точек, через которые она должна проходить. Однако при этом необходимо учитывать следующее:

1. работа с исходными данными оказывается более трудоемкой;

2. при увеличении числа отрезков кривой в n раз весьма вероятно, что в последующем число элементарных разбиений окажется увеличенным примерно в n^2 раз, что является крайне нежелательным;

3. кривая, составленная из отдельных отрезков, в эстетическом плане может иметь худшие свойства, чем сплошная кривая.

В действительности можно строить отрезки кривой с сохранением в точках сшивки непрерывности кривизны и даже еще более высоких порядков непрерывности, но если представить кривизну, как функцию длины дуги, то вполне может случиться, что она будет обладать несколькими экстремумами. Для того чтобы лучше представить себе форму кривой, можно провести ломаную линию, которая проходит через заданные точки и дает общее представление о направлениях касательных и о желаемой форме кривой.

Итак, для управления формой кривой необходимо принять начальные значения модуля производной в граничных точках. Предполагается, что модуль производной в точке P_n принимается равным длине отрезка, соединяющего точки P_{n-1} и P_{n+1} , модуль производной в точке P_{n+1} принимается равным длине отрезка, соединяющего точки P_n и P_{n+2} , при этом они нормируются к длине отрезка, соединяющего точки P_n и P_{n+1} . Если кривизна искомой кривой на участке P_n и P_{n+1} меняет знак, предлагается на данном участке ввести дополнительную точку P'_n , в которой задать направление производной (для отрезка, соединяющего точки P_n и P'_n — одно, а для отрезка, соединяющего точки P'_n и P_{n+1} — противоположное).

При использовании вышеприведенного метода в пределах одной ячейки расчетной площадке, возможно возникновение исключительных ситуаций, таких как выход сглаженной изолинии за пределы ячейки или взаимное пересечение изолиний в пределах ячейки. Поэтому метод применяется уже к соединенным отрезкам изолиний. Как показывает практика, в этом случае перечисленные исключительные ситуации практически не случаются. Однако проверка на взаимопересечение изолиний необходимо в любом случае. В случае обнаружения пересечения необходимо просто добавить коэффициенты при производных в конечных точках.

Построение изоконтуров решается относительно простая задача выделения граничных сторон изоконтуров. Для этого строится дерево изолиний, в котором изолиния, обладающая большей площадью, находится выше по иерархии, чем изолиния с меньшей площадью. Далее осуществляется обход дерева и построение изоконтуров, ограниченных изолиниями уровня n и уровня $n + 1$.

Маренков Алексей Николаевич — аспирант кафедры программирования и информационных технологий факультета компьютерных наук Воронежского государственного университета. Тел. (4732) 208-470. E-mail: amarenkov@inbox.ru.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученный алгоритм с успехом применяется при создании коммерческого программного комплекса. Алгоритм на практике зарекомендовал себя более надежным и устойчивым по сравнению с существующими российскими аналогами.

Однако поскольку построение изолиний и изоконтуров происходит на поле расчетной площадки, алгоритм мало знает об экологическом смысле построения. Он так же ничего не знает об источниках загрязнения. Возможно, более тесное внедрение модуля построения изолиний и изоконтуров в модуль расчета результатов рассеивания позволит оптимизировать работу алгоритма по скорости и получать более правильные с экологической точки зрения изолинии и изоконтуров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий. ОНД-86. Л., Гидрометеиздат, 1987.

2. *Жермен-Лакур П., Жорж П. Л., Пистр Ф., Безье П.* Математика и САПР. — М.: Мир, 1989. — 264 с.

Marenkov Aleksey Nikolaevich — Post-graduate student Department of Programming and Information Technologies, Voronezh State University. Tel. (4732) 208-470. E-mail: amarenkov@inbox.ru.