

местах. – К.: Будівельник, 1981. – 144 с.

4.Абракитов В.Э. Аналоговое и квазианалоговое моделирование процессов распространения звука в пространстве для прогнозирования шумового режима на защищаемом объекте. – Харьков: АО ХГПИ, 1997. – 40 с.

5.Абракитов В.Е. Аналоговые та квазіаналогове моделювання процесів розповсюдження звуку в просторі для прогнозування шумового режиму на об'єкті, що захищається. – 2-ге вид., перероб. та доп. – Харків: Парус, 2007. – 108 с.

6.Абракитов В.Е. Багаторазові відбиття звуку в акустичних розрахунках. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 416 с.

7.Коржик Б.М., Абракитов В.Э. Влияние фронтов поверхности распространения звуковой энергии на расчеты уровней звукового давления в целях прогнозирования шумового режима городов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.3. – К.: Техніка, 1994. – С.105-110.

8.Абракитов В.Э. Типичные формы волновых фронтов разнообразных видов излучений // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.38. – К.: Техніка, 2002. – С.215-219.

*Отримано 26.10.2007*

УДК 621.3

Ю.А.АБРАМОВ, д-р техн. наук, А.А.ТАРАСЕНКО, канд. техн. наук  
*Университет гражданской защиты Украины, г.Харьков*

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ СПЛАЙНАМИ КОНТУРОВ ОБЪЕКТОВ ЛАНДШАФТА**

Предложена математическая модель для аналитического описания контуров природных и антропогенных объектов в виде кусочной параметрически заданной функции, являющейся результатом сплайн-интерполяции полиномами третьего порядка на узлах, принадлежащих контуру. Даны оценки погрешности приближения.

Проектирование устройства ряда антропогенных объектов, таких как искусственные водоемы, парки, линии электропередач, магистральные трубопроводы, железные дороги и автострасы становится более эффективным и менее затратным при использовании методов, основанных на аналитическом описании их очертаний. Задание контуров природных объектов, таких как русла рек, топографические изолинии, границы лесных массивов и их выделов, т.е. тех объектов, очертания которых имеют вид непрерывных гладких линий, в виде единых аналитических выражений, позволяет эффективно проводить мероприятия по планированию застройки и строительству коммуникаций, а также находить геометрические параметры этих объектов – длину периметра, протяженность, площадь и форму.

Особый интерес представляет аналитическое описание контура для динамических объектов, геометрические параметры которых изменяются со временем. Примерами таких объектов являются зоны не-

которых видов чрезвычайных ситуаций (ЧС) – разливы нефти на поверхности воды, районы затопления и очаги природных пожаров.

При описании пространственно распределенных объектов в электронной картографии чаще всего используются полигоны, линии уровня, векторная графика либо массивы координат точек контура. В тоже время, описание в виде гладкой линии применительно к контуру зоны ЧС, использовалось только для участка контура. Как правило, при этом используются полиномы второго порядка, не обеспечивающие непрерывность кривизны моделируемой границы, что может внести искажения в модель прогноза динамики контура [1].

При моделировании динамики зоны ЧС [2] необходимо задать начальный контур в виде плоской, гладкой, параметрически заданной, в общем случае, невыпуклой замкнутой линии, являющейся границей односвязной области – зоны ЧС.

Процедура построения уравнения контура зоны предполагает два этапа, первый из которых состоит в получении пронумерованного конечного двумерного массива  $\{X; Y\}$  декартовых координат  $M$  точек (узлов), принадлежащих контуру  $L$

$$\{X; Y\} = \{(x_1; y_1), (x_2; y_2), \dots, (x_{M-1}; y_{M-1}), (x_M; y_M)\}; \quad (1)$$

$$x_M = x_1; y_M = y_1.$$

При этом координаты первой и последней точек должны совпадать, так как контур должен быть замкнутым.

Второй этап предполагает получение уравнения контура зоны ЧС.

С этой целью массив (1) представим в виде двух двумерных массивов:

$$\{N; X\} = \{(n_1; x_1), (n_2; x_2), (n_3; x_3), \dots, (n_{M-1}; x_{M-1}), (n_M; x_M)\}; \quad (2)$$

$$x_M = x_1;$$

$$\{N; Y\} = \{(n_1; y_1), (n_2; y_2), (n_3; y_3), \dots, (n_{M-1}; y_{M-1}), (n_M; y_M)\}; \quad (3)$$

$$y_M = y_1,$$

где в качестве первого элемента обоих массивов  $n$  будет выступать дискретное множество номеров узлов, т.е.

$$N = \{n_1 = 1; n_2 = 2; n_3 = 3, \dots, n_{M-1} = M - 1; n_M = M\}. \quad (4)$$

Приближение контура  $L(n)$  будем осуществлять параметрически заданной функцией

$$\tilde{L}(n) = \begin{cases} \tilde{X} = \tilde{X}(n); \\ \tilde{Y} = \tilde{Y}(n), \end{cases} \quad (5)$$

определенной на непрерывной области  $n \in [n_1; n_M]$ . При этом функции  $\tilde{X}(n)$  и  $\tilde{Y}(n)$  зададим как результат сплайн-интерполяции полиномами третьего порядка узлов (2) и (3) на каждом из интервалов  $[n_i; n_{i+1}]$

$$\begin{aligned} \tilde{X}(n) = \{ \tilde{X}_i(n) = x_i + \sum_{j=1}^3 c_{xij}(n - n_i)^j \}; \\ \tilde{Y}(n) = \{ \tilde{Y}_i(n) = y_i + \sum_{j=1}^3 c_{yij}(n - n_i)^j \}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $i = 1, \dots, M - 1$ .

Поскольку ограничений на количество и регулярность узлов  $M$  нет, последняя величина может определяться из удовлетворительного соотношения точности приближения и времени выполнения вычислений.

В то же время данный вид интерполяции позволяет получать гладкие функции  $\tilde{X}(n)$  и  $\tilde{Y}(n)$  с непрерывными первыми и вторыми производными, что важно для будущего построения модели динамики контура. Кроме того, рассмотрение этих функций как периодических, что возможно в силу (2) и (3), позволяет достичь этого свойства и в точке сшивки контура [3].

Процедура нахождения коэффициентов  $c_{xij}$  и  $c_{yij}$  (из (6)  $i = 1, \dots, M - 1$ ;  $j = 1, 2, 3$ ) предусматривает [3] решение системы линейных уравнений неразрывности сплайн-функции, ее первой и второй производных в узлах интерполяции

$$\begin{aligned} \tilde{X}_i^{(j)}(n_{i+1}) = \tilde{X}_{i+1}^{(j)}(n_{i+1}); \tilde{Y}_i^{(j)}(n+1) = \tilde{Y}_{i+1}^{(j)}(n_{i+1}); \\ j = 0, 1, 2; i = 1, \dots, M - 2, \end{aligned} \quad (7)$$

дополненной условиями периодической сшивки

$$\tilde{X}_{M-1}^{(j)}(n_M) = \tilde{X}_1^{(j)}(n_1); \tilde{Y}_{M-1}^{(j)}(n_M) = \tilde{Y}_1^{(j)}(n_1); j = 0, 1, 2. \quad (8)$$

В совокупности (7)-(8) дают  $6 \times (M - 1)$  линейных уравнений относительно такого же количества неизвестных коэффициентов. Соответственно, данная система имеет однозначное решение и, таким образом, контур области приближенно может быть задан двумя матрицами коэффициентов  $\|c_{xij}\|$  и  $\|c_{yij}\|$ , где  $i = 1, \dots, M - 1$ ;  $j = 1 \dots 3$ .

Осуществленная программная реализация модели (1)-(8) позволи-

ла провести процедуру отыскания уравнения контура зоны ЧС.

Оценка точности приближения исходного контура  $L$  интерполируемым  $\tilde{L}(n)$  возможна в виде нахождения относительной погрешности  $W$  расхождения площадей соответствующих областей. Обозначая как  $\Omega$  область, ограниченную контуром  $L$ ,  $\tilde{\Omega}$  – область, ограниченную контуром  $\tilde{L}$ , а их площади как  $S(\Omega)$  и  $S(\tilde{\Omega})$ , получим

$$W = \frac{S(\Omega \cup \tilde{\Omega} / \Omega \cap \tilde{\Omega})}{S(\Omega)} 100\% . \quad (9)$$

Очевидно, что параметры алгоритма получения множества (1), количество и регулярность узлов интерполяции  $M$ , определяют погрешность приближения (9). На рис.1 приведены результаты интерполяции кромки нефтяного разлива на поверхности воды при разном количестве узлов интерполяции, взятых на равных расстояниях, измеряемых вдоль кромки разлива. Видно, что увеличение количества узлов приводит к снижению величины  $W$  (область  $\Omega \cup \tilde{\Omega} / \Omega \cap \tilde{\Omega}$  окрашена серым цветом).

В то же время визуальное сравнение контуров разливов нефти и лесных пожаров показывает большую изогнутость последних. В силу этого точность, достигаемая при интерполяции на одном и том же количестве узлов, для этих двух типов контуров будет различной. Поэтому необходимо исследовать зависимость величины  $W$  не только от  $M$ , но и от степени изогнутости контура. В качестве меры этой величины выбрано отношение квадрата длины  $l(L)$  контура области к площади области  $[l(L)]^2 / S(\Omega)$ .

Аппроксимация результатов серии численных экспериментов, осуществленная с помощью метода наименьших квадратов, позволила найти адекватный вид этой зависимости (рис.2)

$$\bar{W} = 62,2066 + 1,4685 \frac{[l(L)]^2}{S(\Omega)} - 0,0017 \left( \frac{[l(L)]^2}{S(\Omega)} \right)^2 - 9,6617M + 0,0655M^2, \quad (10)$$

для размерности длины и площади  $[l(L)] = m$ ,  $[S(\Omega)] = m^2$ . Выражение (10) справедливо в интервале  $M = 4 \div 63$ ,  $\frac{[l(L)]^2}{S(\Omega)} = 16 \div 340$  при

$$\bar{W} > 0 .$$

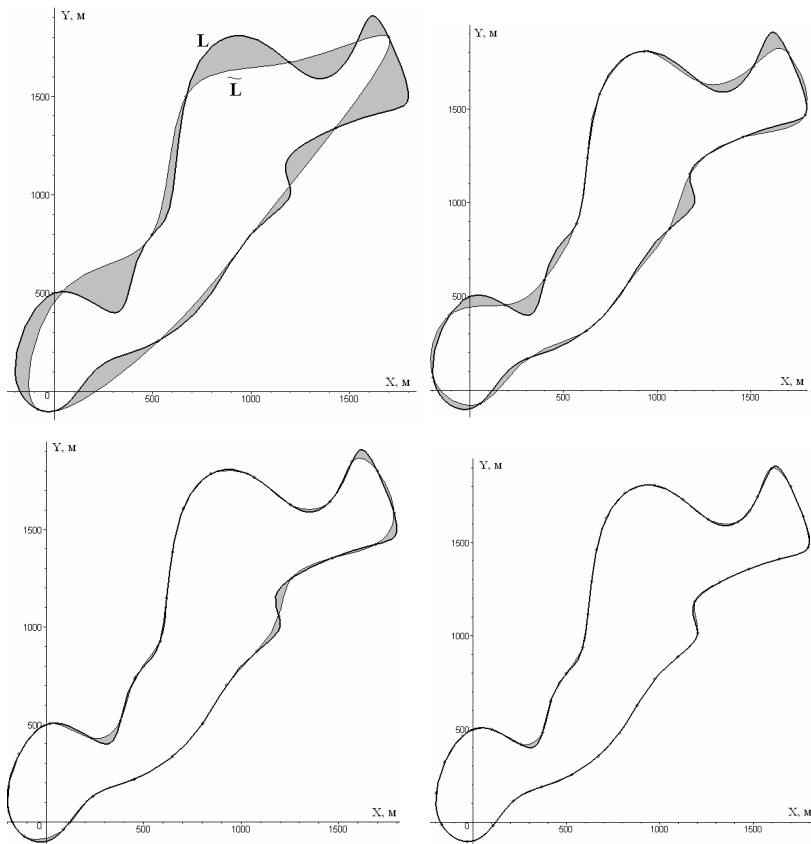


Рис.1 – Контур разлива нефти и результат его интерполяции:  
 а – интерполяция на 10 узлах; б – интерполяция на 20 узлах;  
 в – интерполяция на 30 узлах; г – интерполяция на 40 узлах.

Анализ доступных изображений контуров разливов нефти позволил определить, что для них величина  $[I(L)]^2/S(\Omega)$  изменяется в диапазоне [16; 210], а для ландшафтных пожаров – в диапазоне [24; 310]. При этом, как правило, с течением времени происходит усложнение формы контура, что приводит к росту значения  $[I(L)]^2/S(\Omega)$ .

Таким образом, зависимость (10) позволяет, задавая желаемую погрешность  $W$ , определять необходимое количество узлов интерпо-

лянии  $M$ . Так, для интерполяционного описания контура с 5% погрешностью необходимо для разлива нефти брать на контуре 9-42 узла, для природного пожара – 10-63 узла.

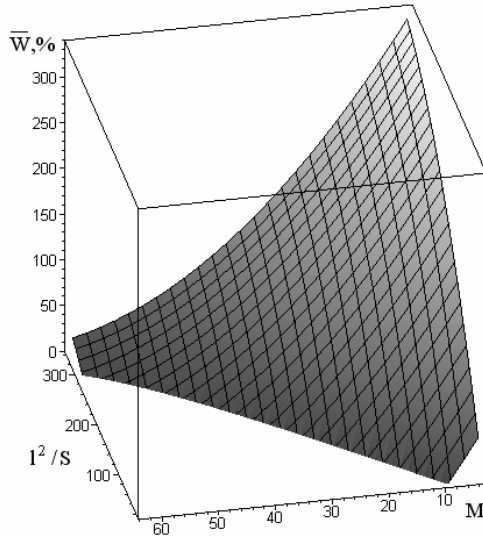


Рис. 2 – Зависимость  $\bar{W}(M; [l(L)]^2 / S(\Omega))$

Отметим, что произвольность выбора начального узла интерполяции определяет случайный характер величины  $W$ . Зависимость (10) есть аппроксимация усредненного по реализациям значения  $W$  для равномерно распределенной на контуре ЧС координате первого узла. Отметим, что с ростом величины  $M$  дисперсия погрешности  $W$  асимптотически снижается до 0 и, таким образом, демонстрируется преимущество предлагаемого метода интерполяции – возможности получения сколь угодно точного приближения реального контура параметрическими сплайнами при увеличении количества узлов интерполяции. К недостатку данного описания следует отнести возрастающее количество коэффициентов  $\|c_{xij}\|$  и  $\|c_{yij}\|$ .

Итак, впервые предложена математическая модель замкнутого контура зоны чрезвычайной ситуации в виде параметрически заданной функции, каждая из компонент которой является результатом сплайн-интерполяции полиномами третьего порядка на множестве узлов, принадлежащих контуру. Даны оценки погрешностей интерполяции. Об-

ласть применения данной модели не ограничивается описанием зоны ЧС, а может быть использована в геодезии, картографии, при распознавании образов и т.д.

1.Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 160 с.

2.Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Моделирование пространственной динамики природной чрезвычайной ситуации // Проблемы чрезвычайных ситуаций: Сб. науч. тр. УГЗ Украины. Вып. 5. – Харьков: УГЗУ, 2007. – С. 241-245.

3.Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

*Получено 07.09.2007*

УДК 614.842

В.М.ЖАРТОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, Ю.В.ЦАПКО, канд. техн. наук  
*Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України*  
Г.В.КИРИК, О.Д.СТАДНИК, кандидати фіз.-матем. наук  
*Міжнародний інститут компресорного і енергетичного машинобудування, м.Суми*

### **ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ТА ФЛЕГМАТИЗУВАННЯ ГОРЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

Аналізується сучасний стан і перспективи використання газових вогнегасних речовин у пожежогасінні та для флегматизування горючих середовищ з урахуванням сучасних екологічних вимог.

Хладони (інгібітори) відносяться до насичених фторвуглеводнів, молекули яких можуть містити інші атоми галогенів. Ці речовини та їх суміші набули широкого використання в галузі газового пожежогасіння завдяки їх виключній здатності до придушення вогню та запобігання вибуху. Вони не проводять електричний струм, хімічно малоактивні, не утворюють конденсованих залишків після використання. За температур зберігання від  $-50$  до  $+70$   $^{\circ}\text{C}$  не зазнають розкладу. Хладон 13B1 (галон 1301), газоподібний за кімнатної температури та хладон 114B2 (галон 2402), що являє собою легкокиплячу рідину, виявилися безпечними для людини у концентрації, достатній для пожежогасіння, тому знайшли широке використання в стаціонарних установках газового пожежогасіння на промислових та інформаційно-обчислювальних об'єктах, у комерційних структурах, в авіації та флоті, а також знайшли застосування деякі вогнегасні склади ("3,5", "7", "БФ-1", "БФ-2", "БМ", "СЖБ"), що містили дибромметан та (або) бромметан – речовини, подібні до хладонів [1].

При подальшому вивченні цих речовин було встановлено їх причетність до руйнування стратосферного озону. У вересні 1987 р. уря-