PACS 89.70

КАДАСТР РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

С.Б. Кумшаев*, Ю.О. Васильев*, С.В. Майборода*,
С.В. Колодка*, В.В. Жилинский**, В.М. Антропов**

* *Аналитический центр «Качество» ГСП «Техноцентр», 252128 г. Киев пр. Науки 46*

** *Государственное предприятие «Комплекс», г. Чернобыль*

Статья поступила 27 октября 1997 г.

Анализируется проблема учета радиоактивных отходов зоны отчуждения ЧАЭС, которая является одной из составных частей программы обращения с радиоактивными отходами Украины и - основной проблемой ликвидации последствий аварии 1986 года. Рассматривается современный подход, основанный на технологии географических информационных систем, позволивший разработать кадастр пунктов временной локализации радиоактивных отходов и пунктов их захоронения, расположенных в зоне отчуждения ЧАЭС. Приводится описание некоторых проблем, возникающих при создании топографической основы, решенных в ходе разработки кадастра, а также некоторых функциональных возможностей программного обеспечения.

1. Введение

В результате Чернобыльской катастрофы образовалось большое количество радиоактивных отходов (РАО), которые были локализованы в объекте «Укрытие» и в 30-км зоне. Значительная часть их находится в пунктах «захоронения» (длительного контролируемого захоронения) РАО (ПЗРО) и пунктах временной локализации РАО (ПВЛРО), оборудованных в ходе дезактивационных работ. По оценкам общее количество РАО в ПЗРО и ПВЛРО составляет 1 млн. $м^3$. Суммарная активность составляет 380 тыс. Ки [1].

В трех существующих ПЗРО: «Комплексный», «Подлесный» и «Буряковка» сосредоточены радиоактивные материалы, суммарная активность которых оценивается в 120 тыс. Ки [1]. Первые два из них вследствие нарушений природоохранных требований при их сооружении не полностью изолированы от окружающей среды. ПВЛРО - около 800 конструктивно простых «захоронений» (траншеи и бурты) практически не изолированы от вмещающих грунтов. Они содержат загрязненные металлические конструкции, железобетон,

© С.Б.Кумшаев, Ю.О. Васильев, С.В. Майборода, С.В. Колодка, В.В. Жилинский, В.М. Антропов

загрязненный грунт и др. Радиоэкологическая опасность ПЗРО и ПВЛРО связана, главным образом, с подтоплением грунтовыми водами.

Информация о состоянии и составе РАО, которая собиралась многие годы, хранится в регистрационных карточках и тяжело поддается аналитической обработке.

Для решения этой проблемы разрабатывается географическая информационная система (ГИС), осуществляющая, в первую очередь, функцию кадастра радиоактивных отходов зоны отчуждения.

2. Базовое программное обеспечение

Базовым программным обеспечением, которое взято за основу при создании кадастра, выбрана продукция американского Института исследований систем окружающей среды (ИИСОС). Этот институт является в настоящее время признанным лидером в быстро развивающейся и привлекающей постоянно растущий интерес многочисленных пользователей в сфере создания и использования ГИС. Ему принадлежит приоритетная роль в создании фундаментальной концепции ГИС, ее базовой структуры и набора функциональных возможностей по обработке и анализу любой пространственно распределенной информации, представления ее в электронной форме и в виде высококачественных твердых копий.

Тысячи организаций во всем мире используют разработанные в ИИСОС программные продукты ArcInfo, ArcView и т.д. для быстрого и наиболее рационального решения как прикладных задач, так и сложных комплексных проблем. Так, в случае с радиоактивными отходами Зоны отчуждения (которые по сути являются основной проблемой Чернобыльской катастрофы), задачей является создание кадастра РАО, а проблемой - обращение с РАО в целом с его технологическими, экономическими, социальными и другими аспектами.

3. О некоторых задачах, возникающих при создании цифровой карты местности

В процессе разработки кадастра РАО были созданы компьютерные карты со стандартными топографическими атрибутами (8 информационных слоев) 10-км Чернобыльской зоны в масштабе 1:25000.

Создание цифровой карты местности (ЦКМ) - сложная и дорогостоящая компьютерная технология. Количество организаций, обладающих такой технологией, которые способны качественно выполнить работы по созданию номенклатурных

листов нужного масштаба ЦКМ - чрезвычайно мало. Работы по созданию номенклатурных листов ЦКМ масштаба 1:25000 зоны отчуждения Чернобыльской АЭС выполнены военными картографами. Однако, информация в этих цифровых картах представлена в специальном формате F20S, который не является универсальным и не обрабатывается в распространенных GIS/CAD пакетах. Помимо этого, низкое качество оцифровки (очень большой процент неинформативных с геометрической точки зрения координат точек, погрешности и т.п.) создает дополнительные сложности при работе в разнообразных системах, использующих такие карты.

В связи с этим возникает необходимость преобразования информации из формата F20S в один из универсальных форматов обмена графической информацией DXF и ручной "доводки" ЦКМ до желаемого вида в среде пакета AutoCAD, а в дальнейшем и в Arc/Info. Рассмотрим некоторые важные аспекты, возникающие при решении этих задач.

3.1. Фильтрация избыточных вершин полигонов цифровых карт местности

Как показывает опыт работы с файлами ЦКМ, которые получены с диапозитивов постоянного хранения при помощи дигитайзера, в них образуется большое количество избыточных вершин полигонов. Поскольку эти файлы имеют значительные объемы (4-7 Мб для номенклатурных листов масштаба 1:25000), то фильтрация избыточной информации ("шума") позволяет существенно экономить дисковую память и время, необходимые для сохранения и обработки данных.

Постановка задачи. Рассмотрим упорядоченное множество вершин исходного полигона

$$a_i = (x_i^1, x_i^2) \in S, \quad (i = 0,1,\ldots,l) \tag{1}$$

в общей системе координат $X^1 0 X^2$ (рисунок 1).

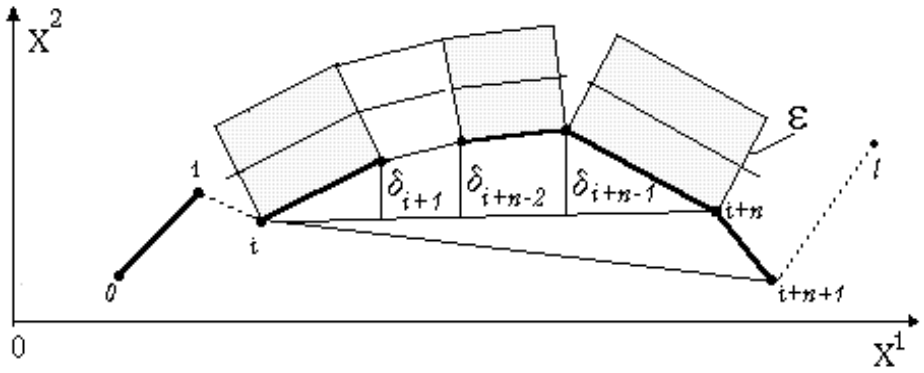

Рисунок 1. Начальный полигон.

На множестве (1) требуется построить минимальное упорядоченное множество V вершин

$$b_j = (x_j^1, x_j^2) \in V, \quad (j = 0,1,\ldots,m), \tag{2}$$

результирующего полигона при условии, что:

а) полигоны имеют минимальную норму расхождения;

б) вариации координат вершин удовлетворяют условию

$$\delta_i(\alpha) \le \frac{\varepsilon}{2}, \quad (i = 0,1,\ldots,l), \tag{3}$$

где ε - ошибка измерения координат (например, для ЦКМ масштаба 1:25000 величина ε = 0.4 мм соответствует 10 м на местности); α - дискретный параметр, определяющий направление вектора между вершинами исходного полигона.

Замечание. При оценке погрешности замены исходного полигона результирующим следует исходить из наихудшего варианта, когда аппроксимируемый участок полигона выпуклый и расположен на границе доверительного интервала ε.

Решение. Задача решается в два этапа. На первом этапе определяется полигон (2) при условии (3), который назовем минимальным. На втором этапе проводится коррекция этого полигона, осуществляющая минимизацию нормы его расхождения с исходным полигоном. Получаемый полигон назовем оптимальным. Решение задачи проводится как дискретно-непрерывный процесс оптимизации.

Такой подход позволяет не просто отбрасывать вершины, попавшие в доверительный интервал, а суммарно учесть локальную геометрию в скорректированном направлении отсекающего вектора между соседними вершинами минимального полигона.

Процесс решения распадается на последовательные шаги. На каждом шаге осуществляется первый и второй этапы решения, которые выполняются поочередно на подмножествах вершин множества (1). Общее решение компонуется из решений на последовательных шагах. Условием компоновки является совпадение координат конечной вершины предыдущего и начальной вершины последующего участков аппроксимации. Определим группу отсекаемых вершин для произвольного шага на первом этапе. Поместим начало местной системы координат $x^1 0 x^2$ в последнюю вершину предыдущего участка и обозначим ее i. Для первого участка такой вершиной будет первая вершина исходного полигона (рисунок 2).

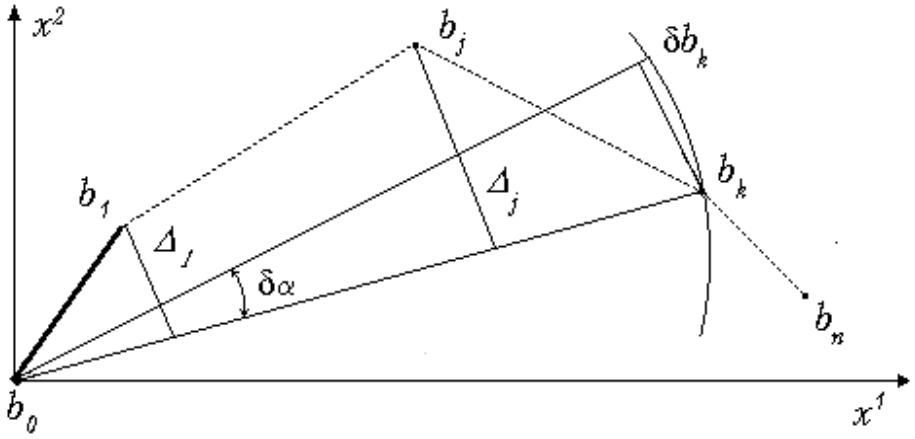

Рисунок 2. Участок полигона в местной системе координат.

Для вершин с последующими номерами значения координат в этой системе определятся так

$$b_j = a_{i+j} - a_i, \quad (j = 0,1,\ldots,n;\ n = l - i). \tag{4}$$

На множестве индексов j определим k^*, для которого

$$\Delta_{j^*h^*} = \max \Delta_{jh} = \left| b_j - \frac{b_h^r b_j}{b_h^r b_h} b_h \right| \geq \frac{\varepsilon}{2}, \quad (j = 1,\ldots,h-1;\ h = 2,\ldots,n). \tag{5}$$

Пусть $h=k^*-1$. Тогда верхняя оценка погрешности аппроксимации участка исходного полигона векторами b_0 и b_h составит $\varepsilon/2$. Векторы b_0 и b_h принадлежат минимальному полигону. На этом первый этап решения задачи заканчивается.

Рассмотрим два варианта решения задачи на втором этапе.

Вариант 1. Минимизация нормы расхождения полигонов на участке аппроксимации сводится к задаче о наименьших квадратах,

$$f(\alpha) = \min \sum_{j=1}^{h-1} \left| b_j - \frac{(\delta b_h)^T b_j}{(\delta b_h)^T b_h} \delta b_h \right|^2, \quad (j = 1,\ldots,h-1), \tag{6}$$

где $\delta b_h = \varphi(\alpha)$ - вариация вектора b_h по направлению $\delta\alpha$ и вариация параметра $\delta\alpha$ ограничены;

$$|\delta\alpha| \leq \arcsin\left(\frac{\varepsilon}{2|b_h|}\right) \tag{7}$$

Минимум квадратичной функции цели (6) определяется методом одномерного поиска на интервале (7) [2]. Благодаря

хорошей обусловленности задачи и невысокой требуемой точности процесс сходится за несколько шагов.

Отметим, что задача (6) - (7) имеет аналитическое решение. Однако вычисление производной от (6) по координате x^1 при $|b_h|$=const приводит к биквадратному уравнению с громоздкими выражениями для корней, а сложность задачи выбора единственного корня уравнения делает предпочтительным метод одномерного поиска.

Вариант 2. На множестве вершин V определим некоторую прямую, удовлетворяющую всем вершинам

$$x^2=C + Dx^1, \tag{8}$$

где x^1 и x^2 - координаты вершин полигона.

Для всех вершин запишем систему линейных уравнений

$$\begin{aligned} &C + Dx_1^1 = x_1^2, \\ &C + Dx_2^1 = x_2^2, \\ &\vdots \\ &C + Dx_h^1 = x_h^2 \end{aligned} \tag{9}$$

относительно неизвестных коэффициентов C и D, или в матричной форме

$$Az^1=z^2, \tag{10}$$

где

$$A=\begin{bmatrix} 1\ x_1^1 \\ 1\ x_2^1 \\ \vdots \\ 1\ x_h^1 \end{bmatrix}, \quad z^1=\begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix}, \quad z^2=\begin{bmatrix} x_1^2 \\ x_2^2 \\ \vdots \\ x_h^2 \end{bmatrix}. \tag{11}$$

В [3] рассмотрен вариант такой переопределенной системы для матрицы с ортонормированными столбцами. Процедура решения не требует обращения матрицы коэффициентов и решение системы *(10)* имеет вид

$$x^1=(A^TA)^{-1}A^Tx^2, \tag{12}$$

где $(A^TA)^{-1}=I$.

В нашем случае аппроксимирующий вектор закреплен в начале системы координат. В силу этого коэффициент C системы (9) обращается в нуль. В этом случае искомый тангенс угла наклона аппроксимирующего вектора определяется формулой

$$D=\sum_{j=1}^{k} x_j^1 x_j^2 \left[\sum_{j=1}^{h} (x_j^1)^2\right]^{-1} \tag{13}$$

при ограничении

$$|D| \le \mathrm{tg}\left(\frac{\varepsilon}{|b_h|}\right) \qquad (14)$$

Если значение решения (13) выходит за допустимый интервал, то его следует заменить ближайшим ограничением (14).

На первый взгляд прямое решение в виде (13)-(14) выглядит привлекательнее. Однако, при его практической реализации возникают трудности при контроле углов между векторами. Для однозначного определения углов необходимо вращать местную систему координат. Первый вариант свободен от этих недостатков, т.к. оперирует с инвариантными величинами. Результаты численного и прямого решения совпадают с точностью до знака, задаваемого точностью численного решения.

Решение задачи (6)-(7) или (13)-(14) позволяет уменьшить максимальную погрешность аппроксимации, возникающую на этапе получения минимального полигона. Информация об отбрасываемых вершинах учитывается в скорректированном направлении вектора b_h.

В заключение отметим, что можно получить модификации оптимальных полигонов вводя весовые коэффициенты в невязки. Этим достигается асимметрия решения, отражающая тот факт, что вершинам отдается приоритет, зависящий от весовых коэффициентов. В нашем случае такими коэффициентами являются нормированные отклонения D_{jk}, получаемые на первом этапе решения задачи при отборе вершин в подмножество множества V. Достоверность вершин с большими весами больше. При этом аппроксимация охватывает исходный полигон. Симметричная аппроксимация привлекательна усредненностью.

Оптимальная вершина b_h, полученная при выполнении второго этапа решения, может быть спроектирована на контур исходного полигона. При этом аппроксимация охватывается исходным полигоном.

Сравнительный анализ результатов. Для проведения сравнительного анализа результатов применения метода фильтрации избыточных вершин полигонов разработан комплекс графических программ. С его помощью получены примеры, представленные на рисунках 3-5.

На рисунках приведены исходный полигон и его минимальная и оптимальная аппроксимации при диапазоне фильтрации 2.0. Здесь минимальная аппроксимация выполнена в чистом виде, т.е. без проведения этапов оптимизации. Исходный полигон имеет 254 вершины. Аппроксимации состоят из 56 и 57 вершин, соответственно. Оптимальная аппроксимация ближе к исходному полигону.

На рисунке 3 представлен общий вид основной горизонтали реального номенклатурного листа ЦКМ масштаба 1:25000. Характерные детали видны при увеличении участка полигона на рисунке 4.

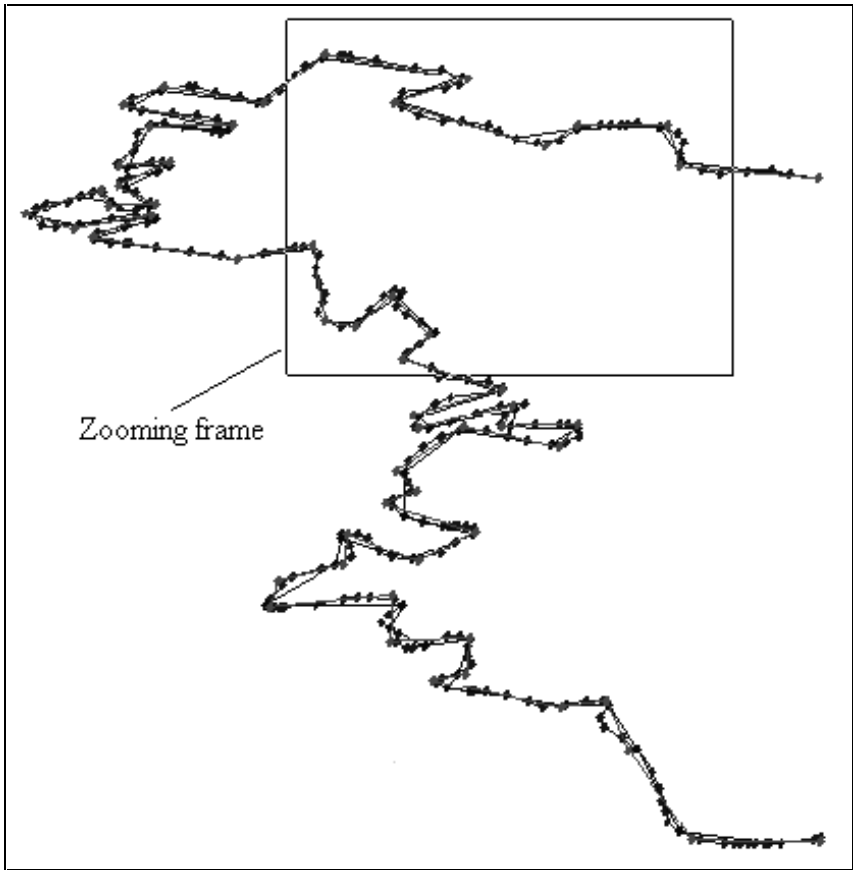

Рисунок 3. Начальный, минимальный и оптимальный полигоны. Диапазон фильтрации 2.

На рисунке 5 приведены исходный полигон, его минимальная и оптимальные аппроксимации, выполненные в двух вариантах. Во втором варианте применено проектирование вершин на контур исходного полигона. Отметим, что оптимальные полигоны не совпадают, так как у них разная предыстория (с проектированием на контур и без него). Полигон с проектированием "ломается" раньше.

3.2. Декомпозиция произвольных односвязных областей, ограниченных полигонами, на треугольники

Задача возникает во многих приложениях машинной графики и проектирования [4,5].

В [5] для декомпозиции полигонов на треугольники предложен способ отсечения вершин, удовлетворяющих необходимому и достаточному условиям.

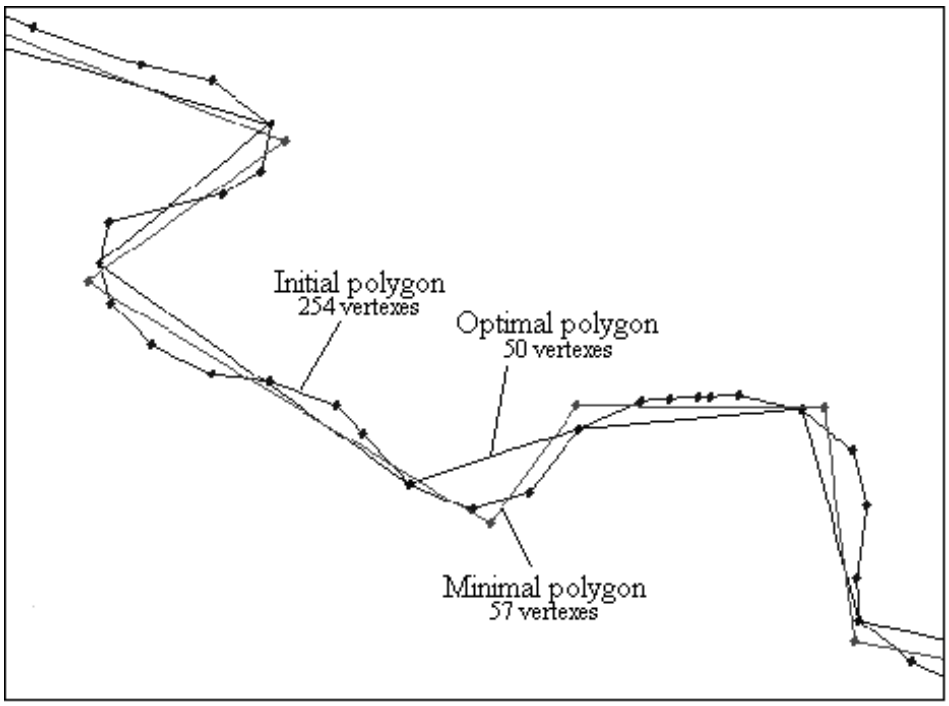

Рисунок 4. Увеличенный полигон.

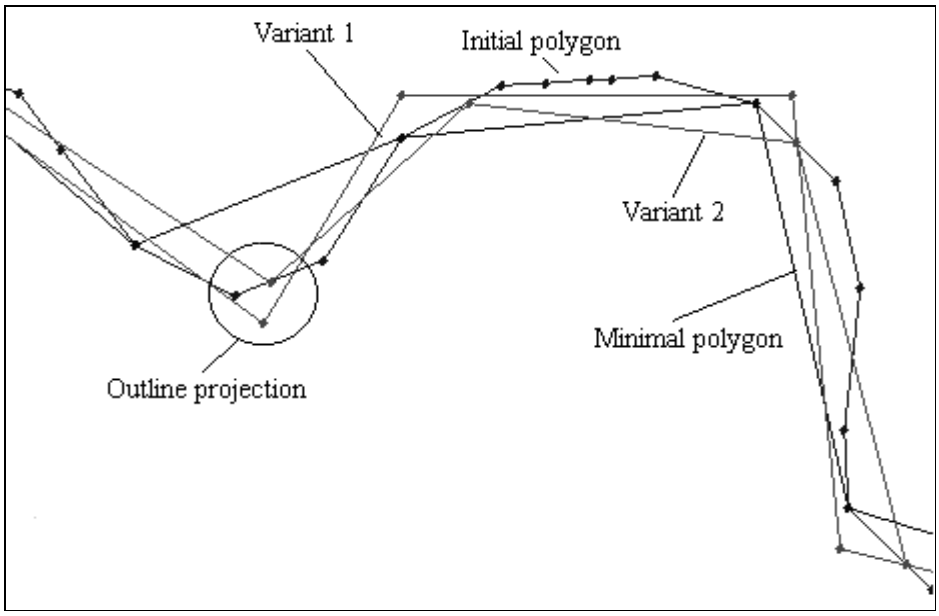

Рисунок 5. Альтернативная версия решения второго варианта.

Рассмотрим рисунок 6. В варианте (а) вершины V_1, V_3 и V_4 - выпуклые, а вершина V_2 - вогнутая. При обходе вершин полигона против часовой стрелки критерием выпуклости i-ой

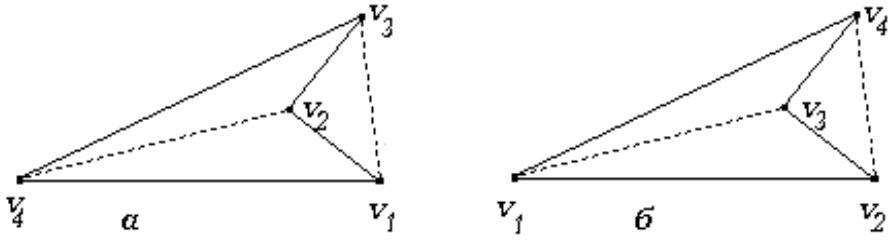

Рисунок 6. Варианты нумерации вершин полигона.

вершины является положительный знак векторного произведения смежных в ней сторон полигона

$$D = \begin{vmatrix} x_{i-1}^1 & x_{i-1}^2 & 1 \\ x_i^1 & x_i^2 & 1 \\ x_{i+1}^1 & x_{i+1}^2 & 1 \end{vmatrix} > 0, \qquad (15)$$

где x^1_i и x^2_i - координаты вершины V_i.

Для первой вершины предыдущей считается последняя вершина.

Условие *(15)* является необходимым для отсечения вершины. В качестве достаточного условия принимается минимум отсекающей диагонали

$$\overline{V_{h-1}V_{h+1}} = \min \overline{V_{i-1}V_{i+1}}, \quad (i = 1,\ldots,n-1;\ n > 3), \qquad (16)$$

если $i=0$, то $i-1=n$.

Из множества выпуклых вершин отсекается вершина, удовлетворяющая достаточному условию.

В [5] отмечается, что достаточное условие в форме (16) удовлетворяет не всем классам полигонов. На варианте (б) рисунка 6 видно, что диагональ V_2V_4, соответствующая вершине V_1, не может быть отсекающей, т.к. лежит вне полигона. В варианте (а) эта ситуация не возникает, потому что вершины пронумерованы иначе. Здесь отсекается вершина V_3 диагональю V_4V_2.

Надежным достаточным условием является следующее. Если треугольником отсекается часть полигона, то ни одна из вершин этого полигона не должна попадать внутрь этого треугольника. Существует насколько алгоритмов проверки взаимного расположения точки и многоугольного контура [6]. Однако они ориентированы на общий случай полигонов и в силу

этого громоздки. Для треугольного контура предложим следующий алгоритм (рисунок 7).

На рисунке индексами h, i, j обозначены вершины треугольника, а индексом k - тестируемая вершина. Начальная

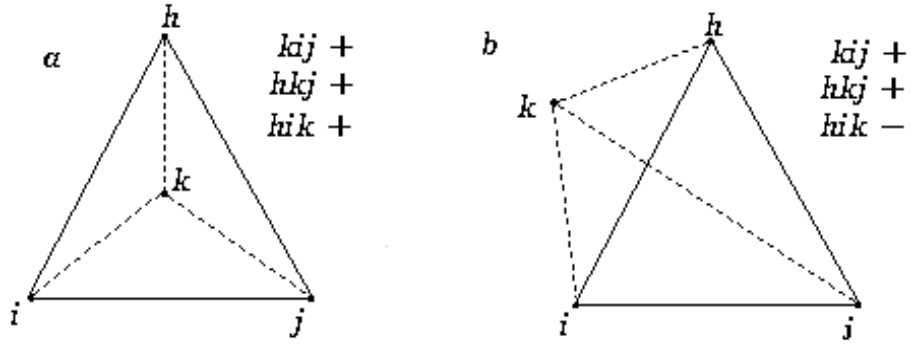

Рисунок 7. Размещение точки и треугольника (а - внутри треугольника, б - вне его).

вершина имеет индекс i. Если вершина лежит внутри треугольника, то для всех циклических подстановок индекса k в триаду индексов hij выполняется условие (15). Это вариант (а) на рисунке 7. В противном случае вершина лежит вне треугольника. Такая ситуация отображена в варианте (б) рисунка 7. Следовательно достаточным условием отсечения вершины от контура является невыполнение условия (15) при циклических подстановках для остающихся вершин.

Вершины отсекаются от полигона по одной, пока этот полигон не превратится в треугольник. Если в результате процесса отсечения вершин наступает ситуация, при которой ни для одной выпуклой вершины не выполняется достаточное условие, то это значит, что обход полигона выполнялся по часовой стрелке. При этом список вершин исходного полигона инвертируется и весь процесс повторяется сначала.

Для апробации метода декомпозиции областей разработан комплекс графических программ. Результаты тестирований представлены на рисунках 8-11.

На рисунке 8 представлены решения простейших тестовых задач. Варианты выполнены при соблюдении достаточного условия (16). Для варианта (а) обозначены номера вершин и пронумерована последовательность исключаемых треугольников. В варианте (б) разрезами A-A и B-B трехсвязная область превращается в односвязную.

На рисунке 9 представлены области с регулярным характером ограничивающих контуров. В варианте (б) понижение связности достигается введением разреза A-A.

На рисунке 10 представлены области с сложными нерегулярными контурами. Здесь учтены все возможные ньюансы

для проверки достаточных условий отсечения. На этих задачах алгоритм из [2] не срабатывает.

На рисунке 11 приведены примеры закраски площадных объектов реальной цифровой карты местности.

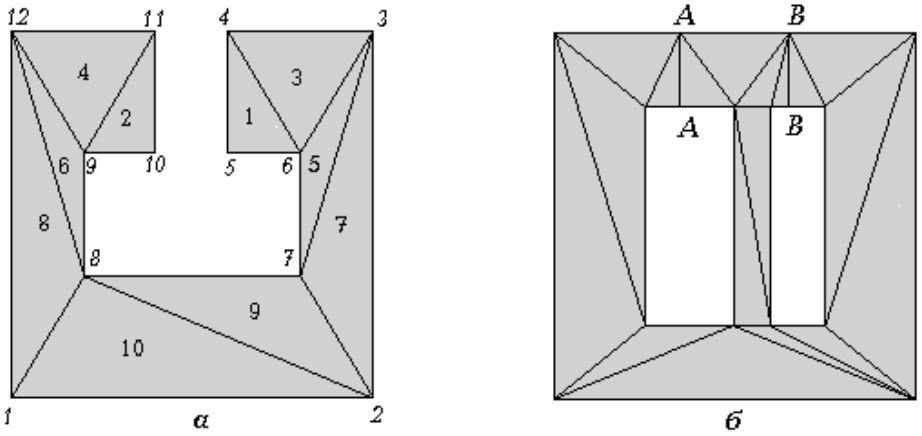

Рисунок 8. Решение тестовых задач: а - просто соединённая область, б - трехкратно соединённая область.

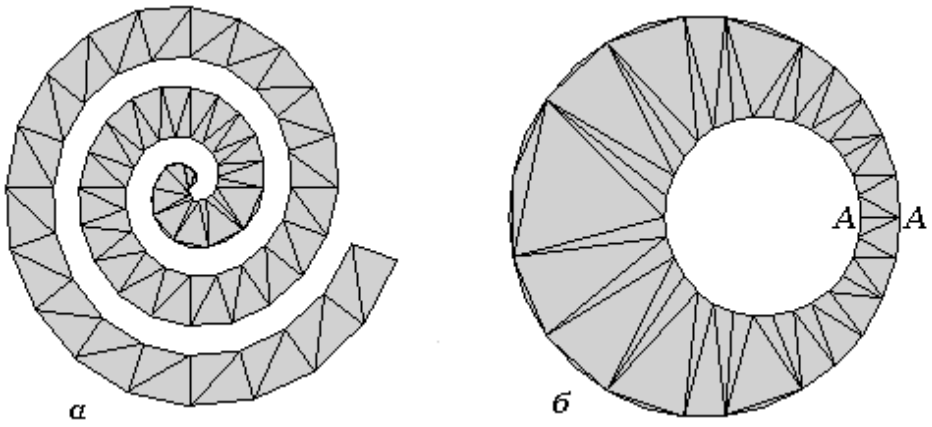

Рисунок 9. Тестовые задачи: а - спираль Архимеда, б - кольцо.

Решение задачи предлагаемым методом применимо при закрашивании областей, ограниченных произвольными замкнутыми полилиниями в системе автоматизации проектирования AutoCAD, разработанной фирмой AutoDesk (США). Вариант закраски мелкой штриховкой решает проблему

неудовлетворительно. Это приводит к большим объемам файлов и при работе в режиме увеличения проявляется дискретность закраски. В AutoCAD единственным графическим примитивом, допускающим сплошную закраску, является SOLID. Этот

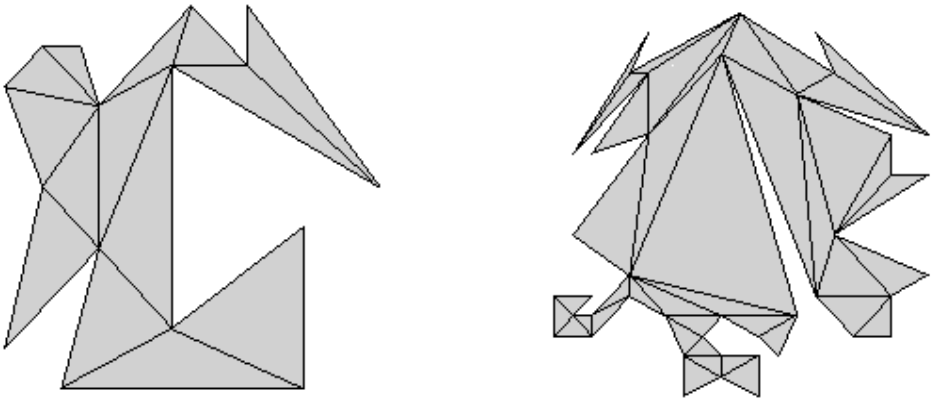

Рисунок 10. Сложные просто соединённые регионы. Координаты вершин контура соединены вручную.

примитив задается координатами четырех вершин, определяющих произвольный четырехугольник. Если две из них совпадают, то этот четырехугольник преобразуется в треугольник. Для рациональной упаковки данных следует объединить треугольники со смежными сторонами в четырехугольники. Рассматриваемый алгоритм декомпозиции является основой при

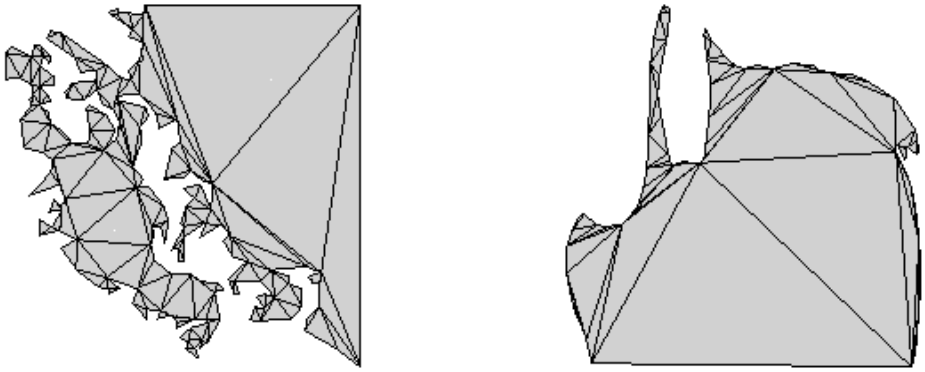

Рисунок 11. Реальные объекты цифровой карты местности.

разработке и реализации новой команды AutoCAD, которая позволяет закрашивать произвольные площадные фигуры на основе информации об ограничивающих их замкнутых полилиниях. При этом реорганизуется графическая база чертежа заменой ограничивающих полилиний на блок четырехугольных и треугольных примитивов SOLID. Команда требует ручного задания совокупности ограничивающих контуров области

раскраски и назначения разрезов для многосвязных областей. Предложенное решение позволило создать ЦКМ 10-ти километровой зоны отчуждения путем преобразования их из формата F20S в формат DXF, которые в дальнейшем явились исходным материалом для Arc/Info.

4. Функциональные возможности кадастра РАО

На созданную топографическую основу была нанесена информация о местонахождении могильников, времени сооружения, их геометрических размерах, вмещающих грунтах, уровне грунтовых вод в районе ПВЛРО, объеме, массе и радионуклидном составе РАО, виде локализованных отходов, состоянии дна могильника и других (более 30 видов) количественных и качественных параметров, характеризующих ПВЛРО. В настоящее время кадастр ПВЛРО (рисунок 12[1]) содержит информацию о 265 захоронениях в зоне отчуждения из более чем 800. Наиболее полно представлена информация о ПВЛРО «Нефтебаза», который условно поделен на участки 5.1, 5.2, 5.3. (рисунок 13).

На этих участках захоронены радиоактивные отходы с активностью 1672 Ки.

Общая площадь захоронения составляет более 53 га, объем захоронений - около 120 тыс. $м^3$, масса РАО - более 200 тыс. тонн. Особенностью захоронения является то, что оно находится вблизи реки Припять и наиболее опасно с точки зрения вероятности выноса радиоактивного загрязнения в водные массивы.

При обследовании ПВЛРО «Нефтебаза» выявлено 14 постоянно подтопляемых траншей с объемом радиоактивных отходов 6.9 тыс. $м^3$. 25 траншей подвергаются затоплению во время паводка. Общий объем РАО в подтопляемых траншеях ПВЛРО составляет 23 тыс. $м^3$ [7]. Практически во всех ПВЛРО наряду с основными долгоживущими продуктами деления $^{238,235}U$ такими как: $^{137,134}Cs$, ^{90}Sr, ^{106}Ru, ^{125}Sb и ^{154}Eu, обнаружены изотопы ^{239}Pu и ^{240}Pu. На рисунке 14 представлено распределение альфа-активности траншей участков 5.1, 5.2, 5.3 ПВЛРО "Нефтебаза", обусловленной в основном наличием изотопов $^{239,240}Pu$. Спектр альфа-активности траншей лежит в очень широком диапазоне: 70-10000 МБк. Объясняется это, прежде всего, геометрическим фактором, а также тем обстоятельством, что в траншее был захоронен верхний слой грунта при проведении дезактивационных работ. Этот факт, наряду с отсутствием гидроизоляции дна и других частей поверхности ПВЛРО, приводит к нарушению достаточно жестких требований, предусмотренных нормативными

[1] Остальные (цветные) рисунки к этой статье находятся на прилагаемом к журналу гибком 3.5” магнитном диске в подкаталоге с названием K7.

документами, регламентирующими обращение с РАО. Особенно тревожным представляется то, что "коктейль" из вышеперечисленных изотопов попадает из Припятского затона в реку Припять и далее в Днепр.

Уровни мощности экспозиционной дозы γ-излучения на участках 5.1, 5.2 и 5.3 находятся в пределах 0.2-8.2 мР/час. Уровни β-загрязнения в диапазоне 50-1200 част./мин. $см^2$, α-загрязненность достигает 2 част./мин. $см^2$. На рисунке 15 красно-желтым цветом представлено усредненное восстановленное поле МЭД участка 5.1 для высоты 0.5 м. В базе данных представлены также значения МЭД, измеренные на высоте 1.0 м.

Максимумы восстановленной поверхности поля МЭД совпадают, как и следовало ожидать, с геометрическими центрами тяжести траншей с наиболее высокой активностью. Это проиллюстрировано на рисунке 16. Разработанное программное обеспечение позволяет рассчитать МЭД, полученную персоналом при проведении контрольно-измерительных работ на участке, исходя из времени пребывания, скорости перемещения и маршрута движения.

Минимизация экологической опасности ПЗРО И ПВЛРО предполагает прежде всего полную и детальную инвентаризацию с оценкой состояния и степени опасности этих объектов. На этом основании должен быть разработан оптимальный комплекс мероприятий.

Основными путями минимизации опасности ПЗРО и ПВЛРО являются:

- консервация;
- предотвращение подтопления;
- перезахоронение.

При неопределенности выбора приоритет имеет консервация. Перезахоронение требует полного и всестороннего обоснования его необходимости [7].

5. Развитие системы

Созданная ГИС является начальным этапом в разработке полнофункциональной аналитической системы по вопросам обращения с радиоактивными отходами Украины. Прежде всего, предполагается создание информационно полного кадастра ПВЛРО и ПЗРО зоны отчуждения. В дальнейшем предполагается дополнить сведения о количестве и структуре РАО ПВЛРО данными из регистрационных карточек за весь период наблюдения (с 1987 г. по настоящее время). Анализ временных изменений активности основных радионуклидов, находящихся в ПВЛРО, наряду с экспериментальными измерениями концентрации этих же радионуклидов в воде Припятского затона, реке Припять и

грунтовых водах позволят определить степень экологической опасности процессов, протекающих в ПВЛРО.

Уже сейчас очевидно, что все РАО, находящиеся в ПВЛРО, должны быть со временем перезахоронены в стационарных хранилищах – вновь строящихся ПЗРО. Это весьма дорогостоящий процесс, и дополнение ГИС экономической частью представляется весьма полезным. Создание экономической части в разрабатываемой ГИС позволит рассчитать оптимальную стратегию процесса перезахоронения, определить минимальное количество необходимых ПЗРО, выбрать технологию переработки РАО с точки зрения минимизации, как финансовых затрат, так и экологического риска.

Литература

[1] Чернобыльская катастрофа. Под редакцией В.Г.Барьяхтара. Киев, Наукова думка, 1995, стр. 377.

[2] Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. Москва, Мир, 1975.

[3] Стренг Г. Линейная алгебра и ее применения. Москва, Мир, 1980.

[4] Цыбенко А.С. и др. Алгоритмы и программы автоматической подготовки и обработки информации в методе конечных элементов. Киев, КПИ, 1983.

[5] Аммерал Л. Принципы программирования в машинной графике. Москва, Сол систем, 1992.

[6] Эгрон Ж. Синтез изображений. Базовые алгоритмы. Москва, Радио и связь, 1993.

[7] Жилінський В.В., Антропов В.М., Хабрика А.І. Інвентаризація тривалоіснуючих радіонуклідів // Бюлетень екологічного стану зони відчуження, 4(9) лютий, 1997, стор. 29-35.

LISTING OF RADIOACTIVE WASTES IN THE ALIENATION ZONE OF THE ChNPP

S.B.Kumshayev, Yu.O.Vasilyev, S.V.Mayboroda,
S.V.Kolodka, V.V.Zhylinski, V.M.Antropov

The problem of taking into consideration of radioactive wastes in the Alienation zone of the ChNPP is discussed. It is an integral part of the whole procedure of radioactive wastes management in Ukraine and, in fact, the main problem in liquidating the 1986 accident consequences. A modern approach is considered, based on the GIS technology. It has

enabled us to elaborate the listing of both radioactive wastes temporary burials and permanent ones located in the Alienation zone of the ChNPP. The description of certain problems, arisen at the creation of a topographic basis, and solved during the listing, is given. Some functional possibilities of the software are mentioned.

КАДАСТР РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

С.Б.Кумшаєв, Ю.О.Васильєв, С.В.Майборода, С.В.Колодка, В.В.Жилінський, В.М.Антропов

Аналізується проблема врахування радіоактивних відходів зони відчуження ЧАЕС, яка є однією із складових частин всього циклу поводження з радіоактивними відходами України і, по суті, основною проблемою ліквідації наслідків аварії 1986 року. Розглядається сучасний підхід, що грунтується на технології географічних інформаційних систем. Він дав змогу розробити кадастр пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів і пунктів захоронення радіоактивних відходів, розташованих у зоні відчуження ЧАЕС. Подається опис деяких проблем, які виникають при створенні топографічної основи, що були розв'язані під час розробки кадастру, а також деякі функціональні можливості програмного забезпечення.