

ЕКОЛОГІЯ І МОНІТОРИНГ

УДК 681.142.2

**Л. В. АЛЕКСЕЕВА, В. В. БОГОМОЛОВ, А. И. БОРИСЕНКО,
Т. А. КОЧНЕВА, А. В. ОСТАПЧИК, А. В. ПОЛУПАН***

**ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ГИС MapInfo ДЛЯ
АВТОМАТИЗАЦИИ И УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЗДАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Український науково-дослідницький інститут лісного господарства і агролісомеліорації ім. Г. Н. Высоцького

Статья описывает средства расширения функциональных возможностей ГИС MapInfo, разработанные с целью оптимизации процесса создания электронных карт в лесном хозяйстве. Проведена топологизация этой ГИС, автоматизация согласования векторной карты с исходным картографическим источником, анализ доступности частей леса с учетом удаленности от сети дорог и рельефа местности. Показана возможность получения полной электронной базы данных карты с целью интеграции ее в централизованную «большую» ГИС.

Ключевые слова: лесное хозяйство, планарный граф, геометрические преобразования, визуализация рельефа, сеть дорог, оптимизация сети дорог, топологизация ГИС MapInfo.

Введение. В данной статье приведены результаты, представляющие продолжение описанных в статьях [1, 4, 6] материалов о расширении возможностей ГИС MapInfo. В статье [1] приводятся сведения об автоматизации оцифровки картографических материалов, коррекции геометрических ошибок с заданной геометрической точностью и построении правильного планарного графа карты после исправления ошибок, кроме тех, которые требуют выбора оператором, производящим оцифровку. В результате был построен полуавтоматический векторизатор, требующий минимального количества ручного труда. Статья [6] посвящена представлению электронной карты в виде планарного графа и построению пространственных объектов на этом графе (циклы, вложенные циклы) и созданию топологических отношений между элементами планарного графа (узлами, ребрами, циклами). В статье анализируется вложенность циклов графа, принадлежность одного цикла другому циклу и т. д. В работе [4] алгоритмы оптимальной маршрутизации применены к построенному графу дорог для обеспечения пожарной безопасности лесов.

Материалы и методы. Исходными данными в настоящей работе являются первичные данные оцифровки картографических материалов (точки плоскости; полилинии, составленные из точек; полигоны, построенные из полилиний), а также параметры преобразования плоскости, задаваемые вручную. В работе использованы методы приближенного решения несовместных систем линейных уравнений с минимизацией средней суммарной квадратической погрешности по множеству заданных пар точек плоскости.

Использование MapInfo в картографии.

Возникновение данной и описанных выше работ продиктовано практической необходимостью иметь доступные программные средства создания лесных карт, обеспечить работу в полевых условиях. Для этого используется ГИС MapInfo, которая имеет свои достоинства и недостатки.

Достоинства MapInfo – простота, доступность, малая стоимость, нетребовательность к вычислительным ресурсам, возможность обеспечить большое количество рабочих мест.

Недостатки MapInfo – почти полностью ручная оцифровка данных картографии, программа не строит топологические отношения, ручное построение графа карты.

Оцифрованные части исходных материалов (аэроснимки, бумажные топографические карты лесного хозяйства) выгружаются в полную электронную карту, которая может быть передана в мощную центральную ГИС (используется SmallWorld), которая имеет все необходимые средства для интеграции, обработки и хранения поступающих данных, но имеет очень высокую стоимость, малое количество рабочих мест и предъявляет высокие

* © Л. В. Алексеева, В. В. Богомолов, А. И. Борисенко, Т. А. Кочнева, А. В. Остапчик, А. В. Полупан, 2014

требования к производительности техники. Далее описана общая структура получаемой электронной карты и подробная структура ее топологической части.

Таким образом, вышеперечисленные работы совместно с данной *ставят целью* исправить некоторые недостатки ГИС MapInfo и наделить ее достаточно развитыми средствами автоматизации картографирования, сделать ее совместимой с мощными топологическими ГИС, при этом в полной мере используя ее достоинства.

Полная электронная карта и состав ее базы данных.

Схема базы данных, в которую может быть выгружена оцифрованная в MapInfo карта, состоит из следующих частей (рис. 1):

1 – исходный материал (на схеме не показан, так как обычно хранится отдельно от результатов оцифровки, – аэрофотоснимок, отсканированный бумажный прототип);

2 – геометрическая часть базы – координаты всех вершин всех полилиний;

3 – топологическая часть базы – описание планарного графа, его линейных и площадных объектов, топологические отношения между узлами, ребрами и полигонами – инцидентность, вложенность, принадлежность;

4 – атрибутивная часть базы – характеристики кварталов, выделов, дорог.

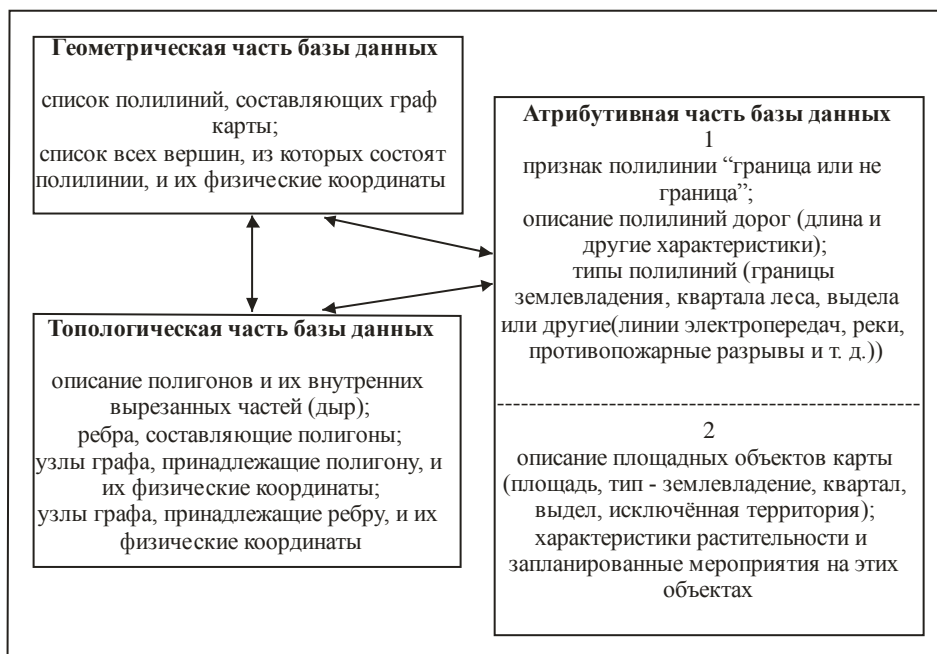


Рис. 1 – Общая схема базы данных оцифрованной карты

Описанная база данных содержит все необходимые сведения как для дальнейшего использования на местах, так и для интеграции в общую серверную базу данных лесного хозяйства.

В настоящей работе рассматриваются средства дальнейшего расширения функциональных возможностей MapInfo для автоматизации картографических работ:

– создание топологической части базы данных карты;

– средства деформации и преобразования оцифрованных данных с целью устранения рассогласования их с исходными материалами;

– автоматическая визуализация доступности частей лесного хозяйства (близость к сети дорог) для обеспечения пожарной безопасности;

– визуализация рельефа местности экономичным методом, достаточным для нужд лесного хозяйства.

Далее более подробно рассматриваются разработанные расширения функций MapInfo в

порядке, перечисленном выше.

Топологизация ГИС MapInfo:

На рис. 2 представлена схема построенной топологической части базы данных оцифрованной карты (описание планарного графа), также показаны связи с геометрическими данными и некоторыми атрибутивными характеристиками элементов построенного графа. В качестве инструмента создания базы данных из-за простоты и нетребовательности к ресурсам используется *MS Eccess*. Все результаты сеанса работы в MapInfo могут быть сохранены в таблицах *MS Eccess* и потом использованы либо для продолжения работы, либо для передачи готового фрагмента электронной карты в центральную ГИС. В MapInfo оцифровываются, как правило, небольшие фрагменты лесных карт, поэтому на создание базы, выгрузку и загрузку данных уходит незначительное время, что позволяет устранить функции коррекции базы, заменив их повторной выгрузкой, то есть созданием заново. По этой же причине при создании базы не ставится целью сделать ее полностью нормализованной и неизбыточной, важнее полнота всех геометрических и топологических данных, полученных в процессе оцифровки исходных материалов.

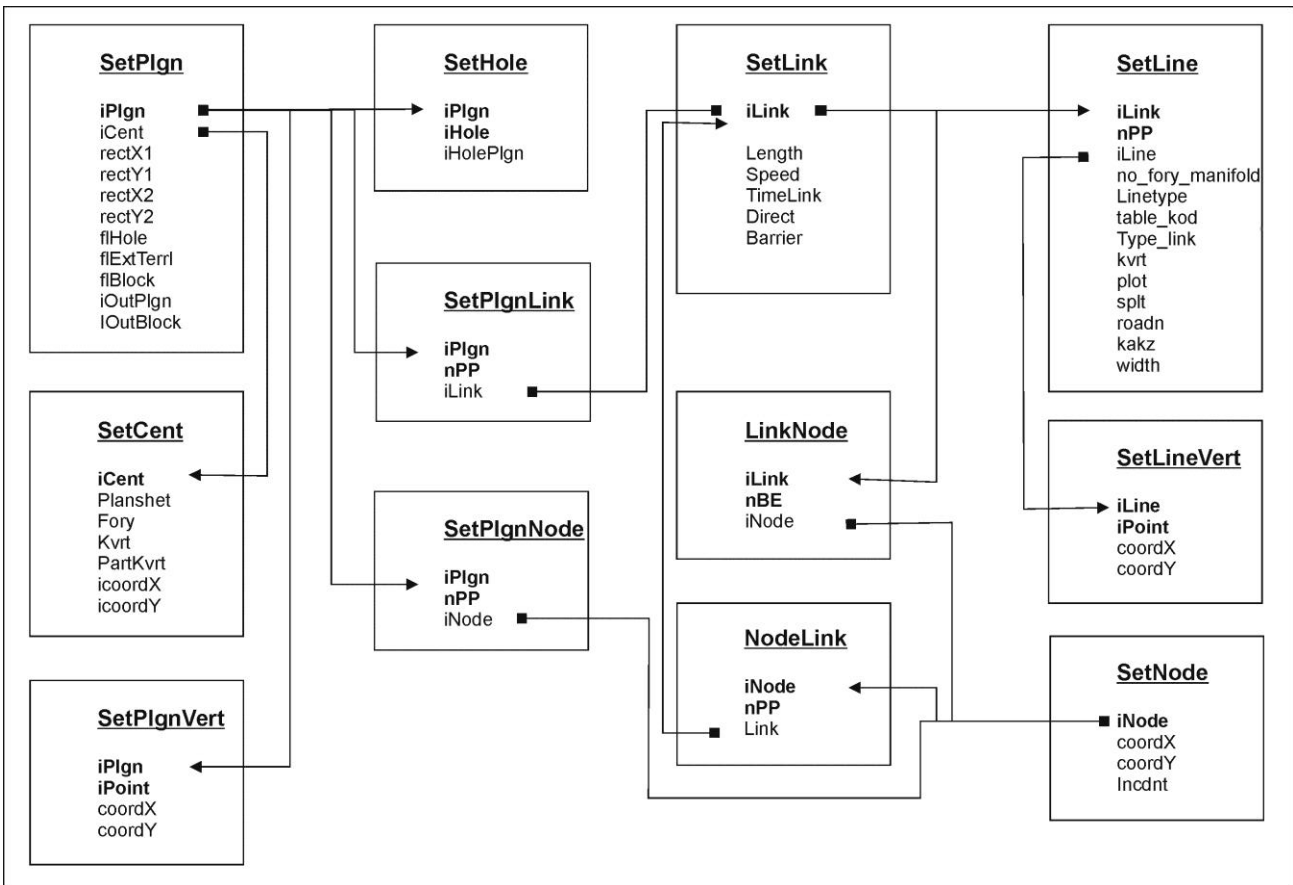


Рис. 2 – Схема топологической базы данных оцифрованной карты

Таким образом, MapInfo приближается к ГИС, строящим топологию картографических материалов.

Ниже дано краткое описание построенной топологической части базы данных карты.

SetPlgn – таблица содержит все простые полигоны и ссылается на таблицу *SetHole* вырезанных из них дыр (дыры являются простыми полигонами и также находятся в таблице *SetPlgn*, поле *iCent* связывает простые полигоны с таблицей *SetCent*, которая содержит атрибутивные данные полигонов (лесничество, квартал и т. д.)).

SetPlgnNode содержит список узлов, принадлежащих каждому полигону, *SetNode* содержит список всех узлов полигонов графа, а *SetPlgnVert* – координаты и другие

характеристики узлов.

SetPlgnLink содержит список ребер, составляющих полигоны, и ссылается на *SetLink* – список всех ребер графа, *SetLine* – таблица полилиний, соответствующих ребрам, в таблице *SetLineVert* описаны координаты всех вершин полилиний

LinkNode – таблица описывает узлы каждого ребра графа, а *NodeLink* ставит в соответствие каждому узлу графа множество ребер, сходящихся в данном узле.

Поля таблиц (см. рис. 2), имеющие вид «iKEY», – индексы, связывающие таблицы базы данных; линии, заканчивающиеся стрелками, описывают отношение «один ко многим». Все идентификаторы достаточно мнемоничны, чтобы не требовать детального описания.

Далее описаны три модуля преобразования плоскости, которые позволяют быстро согласовать исходный растр (например, аэрофотоснимок) с построенной векторной электронной картой.

Расширение функций преобразования и деформации создаваемой карты:

1. Деформация ограниченной части карты с неподвижной границей без деформации остальной части относительно некоторого центра деформации, критерий выбора границы, использование точного аффинного преобразования для разбиения на треугольники обрабатываемого участка карты.

2. На рис.3, *A* показано разбиение части карты на треугольники со сторонами, лежащими на неподвижном контуре и сходящимися в центре деформации «O». При перемещении O1 в O2 (рис.3, *C*) к каждому треугольнику применяется аффинное преобразование по трем точкам, вершины на контуре остаются неподвижными, точки снаружи контура не обрабатываются, если треугольники перекрываются, что порождает неоднозначность преобразования, необходимо создать охватывающий контур (рис. 3, *B*).

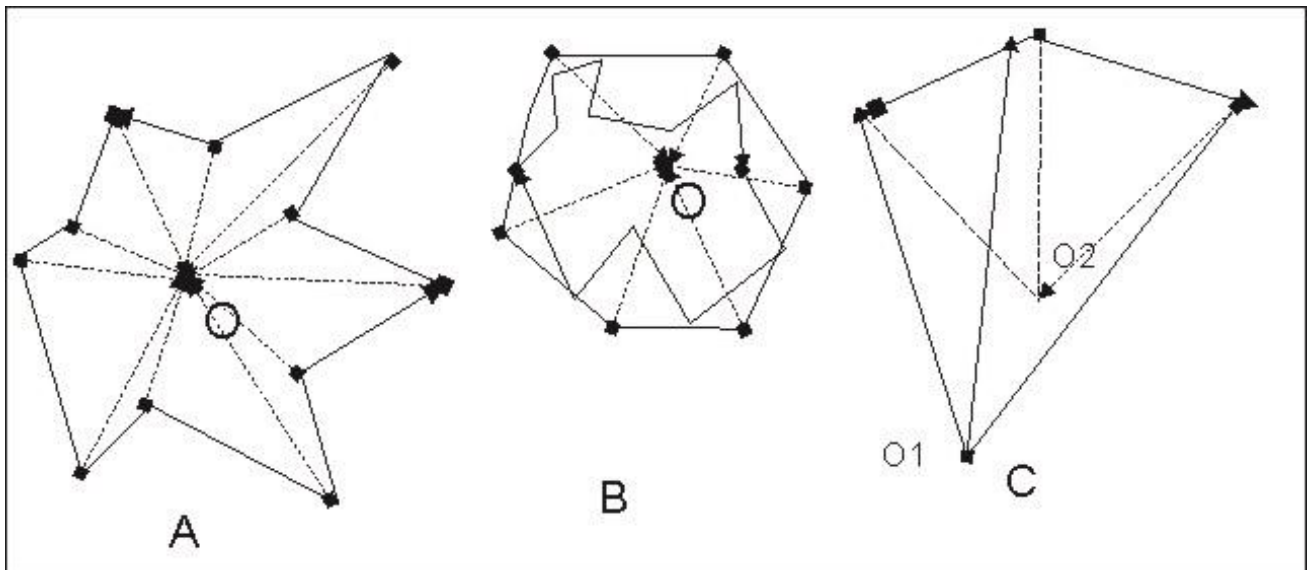


Рис. 3 – Деформация части карты

3. Коррекция результатов оцифровки исходного растра с помощью приближенного аффинного преобразования по множеству $N > 3$ пар $\{pBeg, pEnd\}$ опорных точек с минимальной средней квадратичной погрешностью. Метод использует приближенное решение несовместной системы линейных уравнений.

$$pBeg = \{xBeg[i], yBeg[i]\}$$
$$pEnd = \{xEnd[i], yEnd[i]\},$$

где $i = 1, 2, \dots, n$

Искомое аффинное преобразование: $x' = A \cdot x + B \cdot y + C$ $y' = D \cdot x + E \cdot y + F$ получается решением несовместной системы уравнений с коэффициентами матрицы M :

$$\begin{aligned} a_{11} &= \mathbf{Sum} (xBeg[i] \cdot xBeg[i]); \\ a_{21} &= \mathbf{Sum} (xBeg[i] \cdot yBeg[i]); \\ a_{31} &= \mathbf{Sum} (xBeg[i]); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{12} &= \mathbf{Sum} (yBeg[i] \cdot xBeg[i]); \\ a_{22} &= \mathbf{Sum} (yBeg[i] \cdot yBeg[i]); \\ a_{32} &= \mathbf{Sum} (yBeg[i]); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{13} &= \mathbf{Sum} (xBeg[i]); \\ a_{23} &= \mathbf{Sum} (yBeg[i]); \\ a_{33} &= \mathbf{Sum} (1.0); \end{aligned}$$

Решение системы для A, B, C с матрицей M $\{xEnd = A \cdot xBeg + B \cdot yBeg + C\}$

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot A + a_{12} \cdot B + a_{13} \cdot C &= cX_1, & \text{где } cX_1 &= \mathbf{Sum} (xBeg[i] \cdot xEnd[i]) \\ a_{21} \cdot A + a_{22} \cdot B + a_{23} \cdot C &= cX_2, & \text{где } cX_2 &= \mathbf{Sum} (yBeg[i] \cdot xEnd[i]) \\ a_{31} \cdot A + a_{32} \cdot B + a_{33} \cdot C &= cX_3, & \text{где } cX_3 &= \mathbf{Sum} (xEnd[i]) \end{aligned}$$

Решение системы для D, E, F с матрицей M $\{yEnd = D \cdot xBeg + E \cdot yBeg + F\}$

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot D + a_{12} \cdot E + a_{13} \cdot F &= cY_1, & \text{где } cY_1 &= \mathbf{Sum} (xBeg[i] \cdot yEnd[i]) \\ a_{21} \cdot D + a_{22} \cdot E + a_{23} \cdot F &= cY_2, & \text{где } cY_2 &= \mathbf{Sum} (yBeg[i] \cdot yEnd[i]) \\ a_{31} \cdot D + a_{32} \cdot E + a_{33} \cdot F &= cY_3, & \text{где } cY_3 &= \mathbf{Sum} (yEnd[i]) \end{aligned}$$

результат – коэффициенты (A, B, C, D, E, F) .

4. Коррекция результатов оцифровки исходного растра помощью приближенного ортогонального преобразования с минимальной средней квадратичной погрешностью по множеству опорных точек без деформации плоскости.

$\{xBeg[i], yBeg[i]\}$ – множество исходных точек плоскости;

$\{xEnd[i], yEnd[i]\}$ – множество конечных точек плоскости, где $i = 1, 2, \dots, n$.

$$\begin{aligned} xx'' &= \mathbf{Sum} (xBeg[i] \cdot xEnd[i]) / n \\ xy'' &= \mathbf{Sum} (xBeg[i] \cdot yEnd[i]) / n \\ yx'' &= \mathbf{Sum} (yBeg[i] \cdot xEnd[i]) / n \\ yy'' &= \mathbf{Sum} (yBeg[i] \cdot yEnd[i]) / n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} xc &= \mathbf{Sum} (xBeg[i]) / n & xc'' &= \mathbf{Sum} (xEnd[i]) / n \\ yc &= \mathbf{Sum} (yBeg[i]) / n & yc'' &= \mathbf{Sum} (yEnd[i]) / n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fi &= \mathbf{pi}/2 - \mathbf{Arcsin}(N/L), & \text{где } N &= (x'' \cdot x'' + y'' \cdot y'') - (xc \cdot xc'' + yc \cdot yc'') \\ & & M &= (x'' \cdot y'' - y'' \cdot x'') - (xc \cdot yc'' - yc \cdot xc'') \\ & & L &= \mathbf{Sqrt} (N \cdot N + M \cdot M) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \mathbf{cos}(fi) + y \cdot \mathbf{sin}(fi) + C, & \text{где } C &= xc'' - xc \cdot \mathbf{cos}(fi) - yc \cdot \mathbf{sin}(fi) \\ y' &= -x \cdot \mathbf{sin}(fi) + y \cdot \mathbf{cos}(fi) + D, & \text{где } D &= yc'' + xc \cdot \mathbf{sin}(fi) - yc \cdot \mathbf{cos}(fi) \end{aligned}$$

Анализ сети лесных дорог, прогнозирование новых дорог, необходимых для увеличения пожарной безопасности лесов.

В работах [4, 5] был построен граф дорог для оптимизации пути следования к месту лесного пожара.

Продолжением этих работ в данной статье является:

1 – визуализация труднодоступных участков леса путем разбиения карты на геометрические пиксели выбранного размера, вычисление наименьшего расстояния от каждого пикселя до построенного графа дорог [4], раскраска пикселей в соответствии с вычисленным расстоянием. Пиксели окрашиваются в соответствии с расстоянием до графа дорог: чем больше расстояние, тем интенсивнее окраска;

2 – прорисовка произвольной возможной дороги, пересчет расстояний от пикселей относительно нее, перекраска пикселей с учетом вычисленных новых расстояний – визуальный прогноз новых дорог с целью увеличения пожарной безопасности лесов. Эту процедуру можно повторять до тех пор, пока не будет найдена наилучшая конфигурация дорог; оценка конфигурации производится визуально по изменению окраски пикселей.

$\{dx, dy\}$ – выбранный размер пикселя

D_{\max} – наибольшее расстояние в рассматриваемом прямоугольнике (диагональ);

$P[I, j] = (x_0 + i \cdot dx, y_0 + j \cdot dy)$ – матрица пикселей, покрывающая прямоугольник;

$D[I, j]_{\min}$ – минимальное расстояние от пикселя до графа дорог;

$Clr[I, j] = D[I, j] / D_{\max}$ округленное до значения $\{0,5,255\}$ для выбора окраски пикселя.

Визуализация рельефа.

1. Выбор метода создания рельефа по множеству изолиний определяется тем, что объемное изображение требует больших объемов вычислений – для нужд лесного хозяйства достаточно использовать метод изображения рельефа в классической картографии.

2. Как и в случае вычисления доступности частей лесного урочища, выбирается размер регулярной сетки пикселей на плоскости (размер пикселя можно изменять в зависимости от цели – быстрый результат или более подробное изображение); для вычисления значения высот, соответствующих пикселям, используется обратнопропорциональная интерполяция высот пикселей по расстояниям до двух ближайших изолиний. Пиксели раскрашиваются в соответствии с вычисленными высотами каждого пикселя (раскраска может быть либо одноцветной, и получается вид сверху, либо как на бумажных географических картах – цвета соответствуют высотам) – картина, достаточно наглядная для нужд лесного хозяйства и не слишком требовательная к вычислительным ресурсам.

3. «Плато» – изолинии образуют полигон, лежащий выше всех других: пиксель на плато не имеет двух ближайших полилиний, значение высоты определяется ближайшей изолинией. Полигоны строятся по изолиниям, как в [4], также строятся отношения вложенности и принадлежности между построенными полигонами.

В поле зрения (на рис.4 – прямоугольник с пунктирной границей) попадает только некоторая часть плоскости. Из-за слипания изолиний на границах поля зрения значение высоты на границе прямоугольника неоднозначно, и пиксели, лежащие на этих границах (D на рис. 4), не рассматриваются. Каждый пиксель попадает либо на плато, либо на изолинию с известной высотой, либо между двумя изолиниями (A, B, C на рис. 4), и по значению двух высот и расстоянию до них можно интерполировать высоту пикселя. В данной работе использованы результаты предыдущих работ цикла [1, 6], а также классические источники [2, 3].

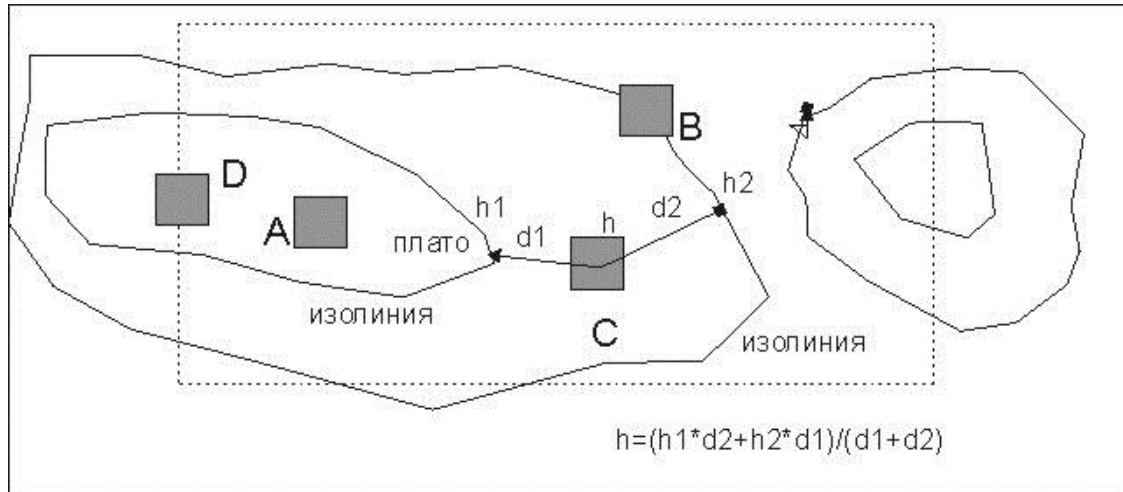


Рис. 4 – Построение рельефа местности по изолиниям

Выводы. Описанные в данной работе расширения ГИС MapInfo в совокупности с разработкой контроля оцифровки исходных материалов, построением топологии графа карты и созданием полной электронной базы данных карты позволяют ускорить работу по созданию электронных карт в среде ГИС MapInfo более чем на порядок, что представляет практическую ценность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочкарь Д. А. Алгоритм формирования планарного графа при подготовке цифровых лесных карт / Д. А. Кочкарь, В. В. Богомолов, А. В. Остапчик // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 6 (33). – С. 34–39.
2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М. : Мир, 1989. – 432 с.
3. Препарата Ф. Вычислительная геометрия: Введение / Ф. Препарата, М. Шеймос; пер. с англ. С. А. Вичеса, М. М. Комарова; под ред. Ю.М. Баяковского. – М. : Мир, 1989. – 478 с.
4. Применение теории графов для разработки алгоритмов оптимальной мобилизации транспортных средств при возникновении лесных пожаров / В. В. Богомолов, А. В. Остапчик, А. И. Борисенко, Т. А. Кочнева, О. А. Куценко, Л. В. Алексева // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2013. – Вип.122. – С. 138–145.
5. Ушанов С. В. Оптимальная маршрутизация при управлении борьбой с лесными пожарами / С. В. Ушанов, О. В. Фадеенков // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – XXIV, № 4–5. – С. 405–407.
6. Формирование топологических отношений между геометрическими объектами цифровой лесной карты на основе анализа планарного графа / Д. А. Кочкарь, В. В. Богомолов, А. В. Остапчик, А. А. Орехов // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 7 (41). – С. 95–99.

Aleksyeyeva L. V., Bogomolov V. V., Borisenko A. I., Kochneva T. A., Ostapchik A. V., Polupan A. V.

RESOURCES FOR INCREASED FUNCTIONALITY OF MapInfo GIS TO AUTOMATE AND INCREASE THE EFFICIENCY OF ELECTRONIC MAPS GENERATING IN FORESTRY

Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

The paper deals with means to extend the functionalities of MapInfo GIS for increase of efficiency of electronic maps generating in forestry. The methods of approximate solutions of inconsistent system of linear equations with minimizing the total standard error on set point pairs of the plane were used in the work. Topologization of the GIS was made. The automation for vector map matching to the original cartographic source was done; analysis of the availability of forest parts was carried out, taking into account distance from the network of roads and relief. There is the possibility to obtain a complete electronic database of map data in order to integrate it into a centralized "large" GIS.

Key words: forestry, planar graph, geometric transformations, relief visualization, road network, road network optimization, GIS MapInfo topologization.

Алексеева Л. В., Богомолов В. В., Борисенко О. І., Кочнева Т. А., Остапчик О. В., Полупан А. В.

МОЖЛИВОСТІ РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ГІС MapInfo ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ І ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

У статті викладено функціональні розширення ГІС MapInfo, розроблені з метою збільшення продуктивності процесу створення електронних карт у лісовому господарстві. Проведено топологізацію цієї ГІС, автоматизацію узгодження векторної карти із вихідним картографічним джерелом, аналіз доступності частин лісу з урахуванням рельєфу місцевості та віддаленості від мережі доріг. Показано можливість отримання повної електронної бази даних карти з метою інтеграції її в централізовану «велику» ГІС.

Ключові слова: лісове господарство, планарний граф, геометричні перетворення, візуалізація рельєфу, мережа доріг, оптимізація мережі доріг, топологізація ГІС MapInfo.

E-mail: LabNit@rambler.ru

Одержано редколегією 27.09.2014