

Г. С. РАТУШНЯК, С. Г. ЛЮТВОРТ

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА
ЦЕПНОГО КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

Использование и охрана природных ресурсов, территориальное планирование и проектирование на разных уровнях, автоматизация картографирования с использованием цифровой пространственной информации требуют решения теоретических и методических проблем создания географических информационных систем [1, 3]. Процесс автоматизации картографирования, включающий обработку значительного количества информации об изображении земной поверхности и элементах, характеризующих ее состояние, можно реализовать, используя метод цепного кодирования информации [2, 6]. Последний представляет значительный практический интерес при создании карт на базе цифровых моделей местности, которые отображают в виде пространственных координат множество точек земной поверхности, объединенных в единую систему по определенным математическим законам [4, 5].

Сущность метода цепного кодирования заключается в том, что соседние точки соединяют между собой прямолинейными отрезками, имеющими горизонтальное, вертикальное или диагональное направление, каждому из которых соответствует свой код. При картографировании земной поверхности и элементов, характеризующих ее состояние, чаще всего применяют линии равных величин — изолинии, для описания которых вводится понятие диады. Под диадой понимается часть геометрического изображения динамического процесса, в котором время изменения параметра совпадает с геометрическим изображением динамики рассматриваемого процесса, а выделяемые при этом участки равной длины аппроксимируются единичными векторами, где участку, расположенному первым по ходу процесса, присваивается название предыдущего, вторым — последующего, изменения направления движения характеризуются углом, который является количественной мерой кривизны.

Кривую, очерчивающую контур местности или представляющую собой изолинию картографируемого параметра, можно разбить на отрезки с интервалом дискретизации l (рис. 1). Положение каждой точки b_j характеризуется координатами $(X_j; Y_j)$. Пусть для последовательности точек кривой b_{i-1}, b_i, b_{i+1} , расстояние между которыми L_{ij} , справедливо условие

$$|L_{i, i-1}| = |L_{i, i+1}| = l. \quad (1)$$

Тогда координаты точки b_{i+1} можно определить через координаты точек b_{i-1} , b_i и угол φ_i между отрезками $L_{i, i-1}$ и $L_{i, i+1}$:

$$(X_{i+1}; Y_{i+1}) = f(X_{i-1}; Y_{i-1}, X_i; Y_i; \varphi_i). \quad (2)$$

Координаты последующей точки, фиксирующей положение конца диады, определяют через координаты начала диады и

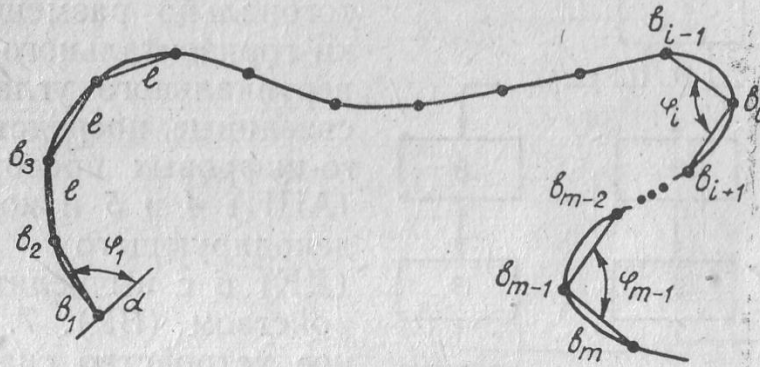


Рис. 1. Схематическое представление углового цепочного кода.

угол между предыдущим и последующим направлением. Начальный угол φ_1 можно определить относительно выбранного направления, тогда координаты точки b_{i+1} :

$$(X_{i+1}; Y_{i+1}) = F[X; Y; l; \Phi(\varphi_j)_{j=1, m-1}^m], \quad (3)$$

где m — количество точек, с помощью которых кривую разбивают на отрезки с заданным интервалом дискретизации.

При условии, что X , Y , l — параметры, последовательность $\Phi = (\varphi_j)_{j=1}^m$ представляет собой конфигурацию кривой, полученную в результате обхождения ее контура диадой.

Характерные углы, определяющие форму и размеры кривой, являются цепочкой. Следовательно, любую кривую, содержащую информацию об изображении земной поверхности или элементов, характеризующих ее состояние, можно представить путем обхождения ее с помощью диады в виде цепочечного углового кода. Путь, пройденный диадой, характеризует положение контуров на плане. При строгой фиксации стабильности угла в вертикальной плоскости можно осуществлять перемещение диады на местности по точкам с одинаковыми высотами, т. е. по наперед заданной горизонтали. Представление в виде углового цепочечного кода собранной последовательности взаимосвязанных углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях между предыдущими и последующими отрезками трассы перемещения устройства, кинематическая схема которого включает диаду, позволяет уменьшить затраты времени на измерительный процесс и практически исключить камеральную обработку полевых материалов. Минимальное, но достаточное для характеристики

объекта количество цифровой информации способствует быстрой автоматизированной ее обработке и графическому картографированию. Кроме того, полученную информацию можно хранить в памяти ЭВМ в виде цифровой модели местности.

Система для автоматизации картографирования при топографической съемке на основе метода цепного кодирования (рис. 2) включает объект управления (ОУ) 1, содержащий транспортное устройство с шарнирно соединенной рамой в виде кардана

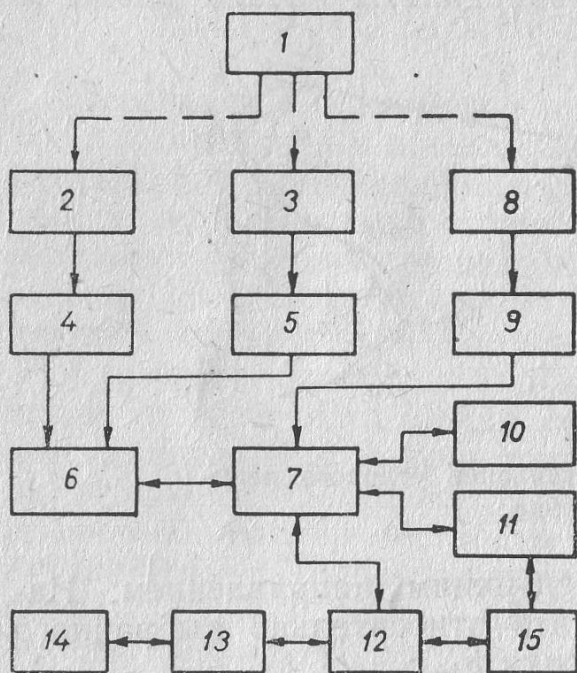


Рис. 2. Структурная схема системы для автоматизации картографирования при топографической съемке.

алгоритме движения на участке съемки (ЗУА) 11, а также посредством приемно-передаточного устройства (ППУ) 12 через буферное запоминающее устройство (БЗУ) 13 — с автоматизированным устройством построения плана (УПП) 14 и

(рис. 3), на осях которого ортогонально размещены датчики горизонтального (ДГУ) 2 и вертикального угла (ДВУ) 3, связанные посредством аналого-цифровых преобразователей (АЦП) 4 и 5 и кодирующего-декодирующего устройства (ДК) 6 с вычислительным устройством (ВУ) 7. Транспортное устройство снабжено дополнительным колесом с датчиком частоты оборотов (ДЧО) 8, который через АЦП 9 соединен с ВУ 7, позволяющим определять пройденный путь при передвижении по участку съемки. ВУ 7 соединено с запоминающим устройством для хранения табличных данных (ЗУТ) 10 и информации об

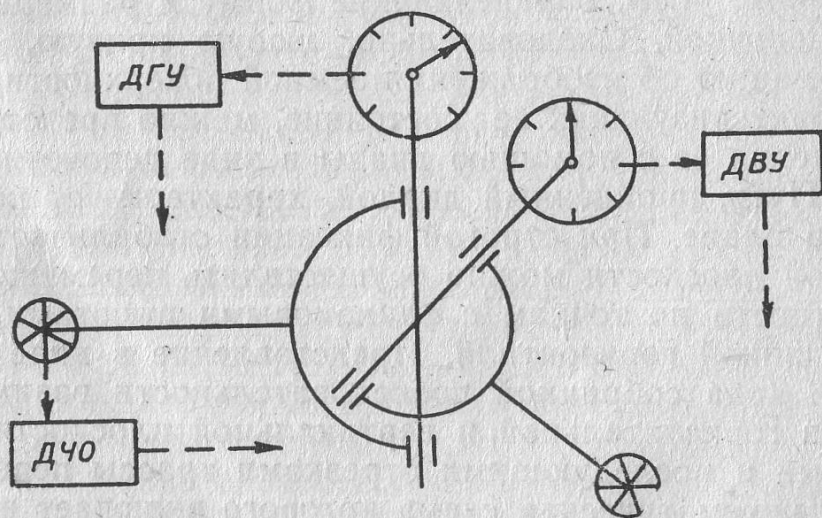


Рис. 3. Кинематическая схема транспортного устройства для съемки информации об изменении горизонтальных и вертикальных углов.

устройством координации управляющих движений оператора (УКД) 15, которое, в свою очередь, может осуществлять обмен информацией с ЗУА 11.

Автоматизированное устройство построения плана (УПП) (рис. 4) по полученной информации об изменениях углов в горизонтальной плоскости в виде углового цепочечного кода содержит кольцо 6 с закрепленными по периметру торцами волоконно-оптических световодов 3, которые световолоконным жгу-

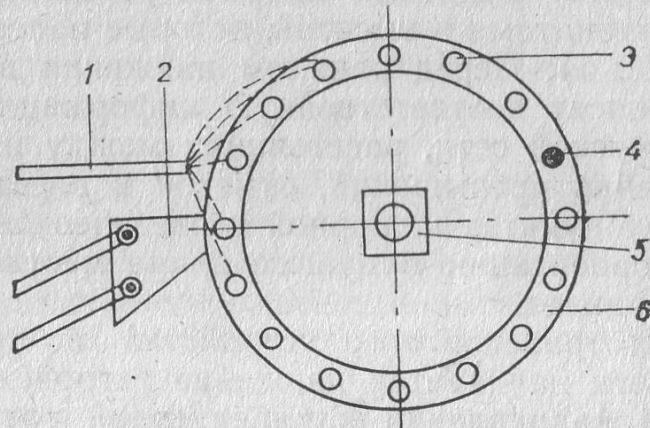


Рис. 4. Автоматизированное устройство построения плана.

том 1 соединены с ППУ, и пишущим узлом. Кольцо 6 с помощью пантографа 2 может перемещаться в плоскости листа будущего плана участка съемки. На направление перемещения кольца 6

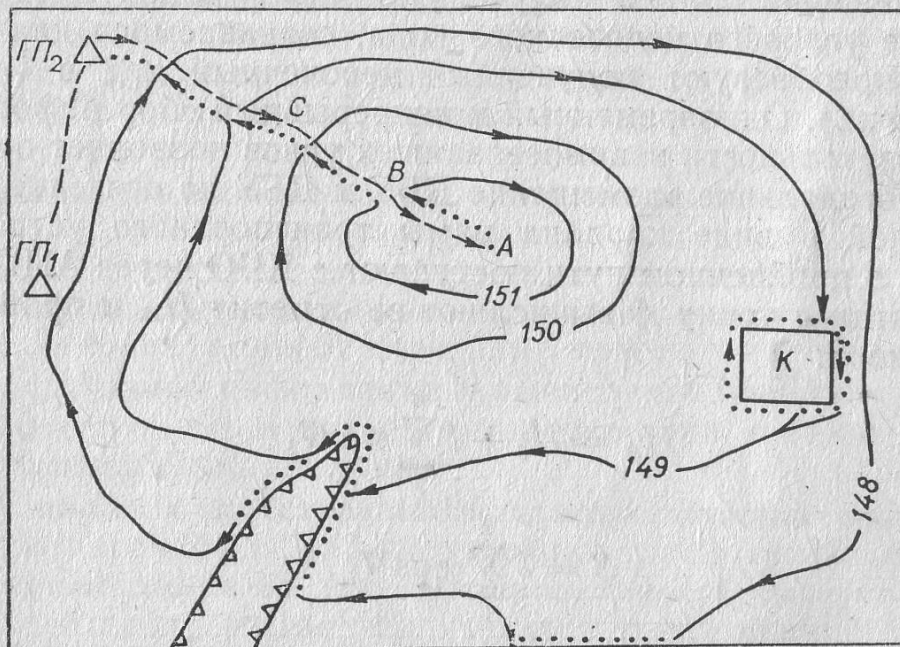


Рис. 5. Схема движения устройства в процессе автоматизации картографирования при составлении плана местности.

в плоскости чертежа указывает светящийся элемент 4. УПП может осуществлять обратную связь с УКД и ВУ. Количество торцов волоконно-оптических световодов 3 соответствует числу

делений горизонтального углового датчика (ДГУ), размещенного на осях карданного соединения.

Процесс автоматизации картографирования при топографической съемке и построении плана местности осуществляется в следующей технологической последовательности. В начале съемки с целью контроля работоспособности и точности измерительного и вычислительного процессов системы для топографической съемки и построения плана местности транспортное устройство перемещается между пунктами опорной геодезической сети с известными координатами и высотой, которые нанесены на планшете плана (рис. 5). Перед началом движения в ЗУТ и ЗУА (см. рис. 2) заносят соответствующую информацию о высотах пунктов геодезической сети, расстояниях между ними, алгоритмы для вычисления превышений, отметок и расстояний. Перемещением между пунктами опорной геодезической сети осуществляют также ориентацию будущего плана местности в принятой системе координат.

По прибытии транспортного устройства в пункт опорной геодезической сети начинается движение устройства в выбранном оператором направлении к характерной точке местности (A), за которую можно принять самую высокую или низкую точку рельефа или другую точку в зависимости от характера местности. При этом одновременно осуществляют непрерывный сбор информации с ДГУ и ДВУ (см. рис. 3) о последовательности взаимосвязанных углов в вертикальной и горизонтальной плоскостях между предыдущим и последующим отрезками трассы перемещения. Затем полученную информацию представляют в виде углового цепочечного кода, создаваемого диадой.

АЦП преобразуют полученный цепочечный код в электрический сигнал. Одновременный и непрерывный сбор информации о последовательности взаимосвязанных углов позволяет осуществлять ортогональное размещение ДВУ и ДГУ на осях, шарнирно соединенной в виде кардана рамы транспортного устройства. Сведения о пройденном пути поступают с ДЧО через АЦП в ВУ. По прибытии в точку A вычисляют ее отметку H_A и пройденное расстояние S :

$$H_A = H_0 + l \sum_1^n \sin \Psi_i; \quad (4)$$

$$S = l \sum_1^n \cos \Psi_i, \quad (5)$$

где l_i — отрезок кривой, равный интервалу дискретизации; Ψ_i — измеренное значение угла в вертикальной плоскости.

Одновременно информацию об изменениях углов в горизонтальной плоскости посредством ПП через БЗУ передают к УПП (см. рис. 4), которое первоначально размещено на будущем плане в геодезическом пункте ($ГП_2$). С заданной дискретностью на направление перемещения оператором УПП бу-

дет указывать один из светящихся элементов 4, расположенных по периметру кольца 6 волоконно-светящихся световодов 3. Маршрут перемещения УПП на листе плана при этом не фиксируется (пунктирная линия).

ВУ определяет превышение между отметкой точки А и первой картируемой горизонталью при заданных масштабе плана и высоте сечения рельефа. Транспортное устройство смещается в заданном створе на значение вычисленного превышения в точку В (траектория изображена точками), высота которой равна первой картируемой горизонтали. Затем транспортное устройство перемещается по картируемой горизонтали, что обеспечивается постоянным измерением с помощью ДВУ углов в вертикальной плоскости, вычислением по ним превышений и передачей информации в УКД. С помощью УКД изменяют направление движения в горизонтальной плоскости так, чтобы изменение превышения было близким к нулю, т. е. отклонения от угла в вертикальной плоскости не превышали допустимых, устанавливаемых в зависимости от требуемой точности картографирования горизонтали.

Полученную в процессе перемещения ОУ информацию о взаимосвязанных значениях углов в горизонтальной плоскости между предыдущими и последующими отрезками трассы перемещения (сплошная линия) при одновременном контроле вертикальных углов представляют в виде углового цепочечного кода, который преобразуют с помощью АЦП в электрический сигнал и посредством ППУ через БЗУ передают в УПП. Оператор последовательно перемещают кольцо 6 УПП с помощью пантографа 2 по листу в направлении, на которое указывает светящийся элемент. При этом пишущий узел 5 вычерчивает горизонталь, значение которого подпишет оператор.

После обхода горизонтали и прибытия транспортного устройства в точку В оно смещается в вертикальной плоскости в точку С, на величину, равную принятой высоте сечения рельефа. При этом осуществляется сбор последовательности взаимосвязанных значений углов в вертикальной плоскости между предыдущими и последующими отрезками трассы перемещения, обработка полученной информации и вычисление превышений. Далее весь процесс съема и обработки информации, а также вычерчивание горизонталей повторяют.

При наличии естественных или искусственных преград осуществляют их обход без вычерчивания трассы на листе плана (пунктирные линии на рис. 5). Правильность вычерчивания горизонталей подтверждает получение в конце съемки по прибытии в геодезический пункт ($ГП_2$) его отметки, а также контрольной суммы углов в горизонтальной плоскости. Плановое положение контуров (К) находят в результате обхода их на местности и одновременным сбором последовательности взаимосвязанных значений углов в горизонтальной плоскости, соответствующей обработкой полученной информации и ее отображения способом, аналогичным построению горизонталей.

Точность определения высотного положения точки земной поверхности оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_H = \sqrt{m_H^2 + m_l^2 \sum_i^n \sin^2 \Psi_i + m_\phi^2 l^2 / \rho^2 \sum_i^n \cos^2 \Psi_i}, \quad (6)$$

а точность определения планового положения контуров — средней квадратической погрешностью

$$m_K = \sqrt{m_l^2 \sum_i^n \cos^2 \Psi_i + m_\phi^2 l^2 / \rho^2 \sum_i^n \sin^2 \Psi_i + m_\phi^2 Ll / \rho^2}, \quad (7)$$

где m_H , m_l , m_ϕ , m_φ — соответственно средние квадратические погрешности высотного положения исходного репера, определения отрезка кривой l , равного интервалу дискретизации, измерения углов Ψ в вертикальной и φ в горизонтальной плоскостях; $\rho = 206265$; $L = nl$ — длина линии; n — число интервалов квантования.

Способ автоматизации картографирования на основе метода цепного кодирования информации по аналогии с предлагаемой методикой можно реализовать при составлении тематических карт различных природных явлений. Предлагаемый способ позволяет значительно уменьшить затраты времени на измерительный процесс и существенно исключить непроизводительные операции по камеральной обработке полевых материалов.

1. Анисимов Б. В., Курчанов В. Д., Злобин В. К. Распознавание и цифровая обработка изображений. М., 1983. А. с. 847036 (СССР). Устройство для измерения рельефа местности // Авотин Е. В., Жиндаев С. Г., Валяжонков В. Д. Бюл. изобрет. 1981. № 26. 3. Берлянт А. М., Кадничанский С. А., Марков В. Ф. Некоторые аспекты развития автоматизированной картографии // Геодезия и картография. 1987. № 9. С. 33—36. 4. Ратушняк Г. С. Составление гидролого-климатических карт с использованием цифровых моделей местности // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1988. Вып. 50. С. 117—121. 5. Халугин Е. И. Концептуальные основы цифровой картографии // Геодезия и картография. 1989. № 1. С. 41—43. 6. Freeman. On the encoding of arbitrary geometric configurations // IRE Trans. Electronic Computer. 1961. Vol. 3. P. 41—43.

Статья поступила в редколлегию 31.03.90