

АЭРОФОТОСЪЕМКА

описанной до сих пор в картографии методикой уходят многие годы, и существующий опыт передается только непосредственно при производственных контактах узкого круга наставников и молодых специалистов. Поэтому методически важно фиксировать моменты формирования предварительного целостного образа (систематизированная исходная информация для создания карт), формализованного целостного образа (систематизированная информация на или в картах) и интегративного целостного образа (систематизированное ценностное знание об объекте как результат картографического исследования). Методика преобразования промежуточных образов объекта выступает в картографии как часть логики картографической, вырабатываемой в общей системе картографической методики формализации.

В заключение необходимо признать, что в целом развитие научного объяснения в картографии — малоисследованное, сложное, однако актуальное логико-картографическое научное направление, способствующее посредством разработки системы понятий и методов КИ приближению картографии к решению одной из глобальных задач современной науки — проблемы системного синтеза. Этой проблемой конкретизируется цель, достижению которой служат немногие результаты начатых нами обобщений, основанных на исследовании перспектив теории и практики картографической науки. Становится очевидным, что для разрешения и предотвращения возникающих на этом пути трудностей следует централизованно консолидировать усилия активных опытных и лучших начинающих исследователей. При этом руководствоваться следует тем, что основной целью картографической теории является объяснение и предсказание объективных явлений и закономерностей их развития. Именно этой цели должна служить система создания и использования всего многообразия картографических моделей, охватывающего при КИ в органическом сплетеении многие формы и средства общественного преобразования объективной информации.

Список литературы: 1. Аслаканянц А. Ф. Метакартография. Основные проблемы. — Тбилиси: Молниеба, 1974. 2. Кондаков Н. И. Логический словарь-справочник. — М.: Наука, 1975. 3. Салищев К. А. Идеи и теоретические проблемы в картографии 80-х годов. — М.: ВИНИГИ, 1982. 4. Титаренко Б. А. Картографическое интерпретирование в исследовании проблем управления развитием крупного социалистического города (на примере г. Киева): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — К., 1982. 5. Философский словарь / Под ред. И. Т. Фролова. — М.: Полигиздат, 1981.

Статья поступила в редакцию 22.12.84

УДК 528.711+65.011

Б. В. ВАЙНАУСКАС, А. А. ПИЛИПАТИС, Д. В. МАРДОСЕНЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

В последнее время при развитии методов и технологий близкоСъемочной фотограмметрии большое внимание уделяется широкому использованию ЭВМ как для обработки измерительной информации, так и для анализа полученных результатов с целью извлечения необходимых количественных и качественных показателей. Во многих областях применения фотограмметрических методов часто достаточным является высокоточное определение пространственных координат множества дискретных точек, т. е. построение цифровой модели исследуемого объекта.

В близкоСъемочной фотограмметрии приходится применять до нескольких сотен точек в одной стереопаре вместо 6—12, используемых при построении фотограмметрических сетей. Обычно здесь абсолютная точность имеет второстепенное значение, необходима лишь высокая взаимная точность искомых точек. Следовательно, надежное определение масштаба модели имеет решающее значение. Нередко применяется случай конвергентной съемки, чтобы с наибольшей точностью найти превышения точек объекта.

В целях автоматизации процессов обработки снимков наряду с привлечением аналитических методов также исключительно большое значение имеет и графообразное представление результатов исследования, т. е. составление карт, планов, чертежей, сечений и различных гистограмм. Имеется ряд и обусловленных факторов, стимулирующих развитие и адаптацию аналитических методов в близкоСъемочной фотограмметрии, к которым следует отнести использование неметрических камер, при помощи которых полученные снимки не всегда можно обработать на аналоговых приборах. Поэтому дальнейшее совершенствование цифровых методов обработки снимков имеет большое практическое и научное значение, особенно это касается автоматизации составления гравиметрических материалов.

Производственные опыты убедительно показали, что для обработки фотограмметрической измерительной информации нужно располагать пакетом соответствующих программ, чтобы успешно решать возникающие различные задачи с учетом условий оптимизации и обеспечения необходимой точности окончательных результатов. В лаборатории инженерной фотограмметрии Вильнюсского университета создан пакет программ, базирующихся на класси-

ческих формулировках основных фотограмметрических функциональных зависимостей коллинеарности и компланаарности.

Построение коллинеарной модели объекта. При использовании уравнений коллинеарности математическую модель всех проектирующих лучей можно представить уравнением общего вида

$$V = \vec{B}\delta + \ddot{\vec{B}}\ddot{\delta} + \ddot{\vec{B}}'\ddot{\delta}' + L, \quad (1)$$

где V — матрица остаточных ошибок (невязок) в координатах точек снимков; δ — поправки параметров внешнего ориентирования снимков; $\ddot{\delta}$ — поправки координат точек объекта; $\ddot{\delta}'$ — поправки параметров внутреннего ориентирования снимков; \vec{B} , $\ddot{\vec{B}}$ и $\ddot{\vec{B}}'$ —

матрицы частных производных основных функций коллинеарности по соответствующим переменным; L — матрица свободных членов.

Уравнения наблюдений составляют на основании следующих измерений: 1) по фотограмметрическим измерениям координат точек снимков; 2) по определению элементов внешнего ориентирования камеры; 3) по геодезическим измерениям координат опорных точек объекта; 4) по геодезическим измерениям расстояний, превышений точек объекта относительно центров фотографирования, центральных углов и азимутов центральных направлений; 5) по геодезическим измерениям расстояний, превышений, углов и азимутов между точками и направлениями в пространстве объекта; 6) по измерениям длины базиса фотографирования и превышения его концов. Следовательно, математическое решение задачи включает уравнения следующих типов [1, 2, 3]:

$$V = \vec{B}\delta + \ddot{\vec{B}}\ddot{\delta} + \ddot{\vec{B}}'\ddot{\delta}' + L, \quad \text{координаты точек снимков}$$

параметры внешнего
ориентирования снимков

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \dot{\delta} \\ & + \dot{L}, \quad \text{координаты опорных точек} \\ V_c = & \vec{B}_c\delta + \ddot{\vec{B}}_c\ddot{\delta} + L_c, \quad \text{измерения в станции} \\ V_o = & \vec{B}_o\ddot{\delta} + L_o, \quad \text{измерения в объекте} \\ V_B = & \vec{B}_B\ddot{\delta} + L_B, \quad \text{измерения базиса} \end{aligned} \quad (2)$$

При условии, что $\delta = [\dot{\delta}, \ddot{\delta}, \ddot{\delta}']^T$, все уравнения (2) можно записать в общем виде

$$V = B\delta + L. \quad (3)$$

Тогда

$$(B^T P B)\delta + B^T P L = 0, \quad (4)$$

где P — весовая матрица. В вычислительных процедурах сначала определяют $\dot{\delta}$ и $\ddot{\delta}$, а потом включают δ , причем задачу решают итеративным методом, пока поправки становятся пренебрежимо малыми. Такая формулировка фотограмметрической задачи на практике предоставляет большую гибкость и свободу в подборе

наиболее подходящей опоры для определения масштаба и ориентировки модели объекта при правильном учете весов фотограмметрических и геодезических измерений.

Построение компланаарной модели объекта. В этом случае решение задачи делится на две фазы: 1) взаимное ориентирование мультиплетов в систему координат объекта. Под условием компланаарности проектирующих лучей решается задача взаимного ориентирования снимков согласно векторному уравнению

$$(R_1 \times R_2) \cdot R_0, \quad (5)$$

где R_0 — вектор, соединяющий два центра фотографирования.

Полную систему уравнений можно представить в виде

$$AV = B\delta + L, \quad (6)$$

где V — матрица остаточных ошибок (невязок) в координатах снимков; δ — матрица неизвестных параметров взаимного ориентирования снимков; A и B — матрицы коэффициентов (частных производных); L — матрица свободных членов. После определения элементов взаимного ориентирования снимков по задаче прямой засечки вычисляются пространственные координаты точек объекта. Абсолютное ориентирование модели производят по формуле пространственного линейного конформного или аффинного трансформирования [3, 4]. Данный способ удобен при обработке отдельных стереопар, так как в этом случае задачу можно решить при помощи настольных ЭВМ. В случае обработки нескольких стереопар (мультиплета) отдельные модели объединяют в общую систему координат и лишь потом выполняют окончательное уравнение.

Возможны и другие математические формулировки построения цифровых моделей объектов по снимкам, например, при обработке неметрических снимков допускается использование более общих условий построения проектированных моделей, т. е. применить теорию проективной геометрии.

Дигитализация и анализ данных. Сбор дискретных числовых данных об объектах выполняют тремя способами: 1) дигитализацией существующих карт, планов и чертежей; 2) измерением координат снимков (т. е. полностью аналитический способ); 3) дигитализацией пространственных координат точек модели, построенной на аналоговых стереоприборах (т. е. полуаналитический способ). Основное внимание уделим второму способу, как наиболее универсальному и точному, при котором можно обработать любые снимки.

В зависимости от метода и процедур, используемых в процессах фотограмметрии и дигитализации, цифровые данные, представляющие поверхность объекта, подбирают в виде прямоугольных сеток, параллельных профилей — сечений или произвольно размещенных характерных точек. Так как в процессах фотограмметрии и дигитализации всегда необходимо минимизировать число

дискретных точек, то обычно измеряют характерные точки, представляющие ситуацию и рельеф исследуемого объекта. Поэтому в программах используют методы прямолинейного и криволинейного интерполяции. Подбор математической модели и процедур зависит от точностных требований, густоты и размещения исходных данных, а также и от априорного представления о форме исследуемого объекта. Кроме того, тип параметров и алгоритм зависят от структуры цифровых данных и требований потребителя.

На основании цифровых моделей объектов легко можно получить следующие качественные и количественные параметры (показатели): 1) геометрические параметры — площадь, объем, периметр, кривизна, радиус, градиент; 2) параметры движения и изменения — скорость, ускорение, площадь, объем и след; 3) статистические параметры — распределение ареалов (площадей), моделирующей поверхности объекта и т. д.

Графическое представление используют для целей иллюстрации и визуального показа результатов. Во многих случаях практики физический план участка местности, архитектурный чертеж объекта и т. д.). Последние вычерчивают при помощи программно-управляемого графопостроителя или автоматического координатографа от магнитной или перфоленты off-line или представляют на экране графического дисплея. Среди наиболее распространенных графических материалов используют топографические карты, планы ситуаций и рельефа, тематические и перспективные чертежи, профили, сечения и различные гистограммы.

На рис. 1 представлена схема автоматизированной фотограмметрической системы картографирования (АФСК). Основная математико-техническая база (фотограмметрические приборы) и проблемное обеспечение для ЭВМ позволяют реально решать проблему автоматизации многих задач фотограмметрии. Для этого необходимо правильное соединение различных функциональных программ в одну систему, которая должна быть глобальной в отношении подключения специальных программ.

Автоматизация составления графических материалов. В лаборатории инженерной фотограмметрии Вильнюсского университета с 1980 г. начата разработка автоматизированной фотограмметрической системы для картографирования небольших объектов: архитектурных памятников, географических ландшафтов и геологических образований (архитектурных ансамблей, их достопримечательных мест, абразионных берегов рек, озер, водохранилищ, морей, мигрирующих дюн на косе Куршской Неринги и др.).

Технической базой АФСК являются различные наземные и воздушные фотокамеры, стереокомпьютеры «стекло 1818» или «стекло комет», ЭВМ СМ-3, СМ-4, ЭВМ ЕС-1033 или ЕС-1060, автоматический координатограф «Дигиграф 1612», комплекс графических дисплеев и дигитайзер «ЭМ-709».

Для составления картографических материалов — структурных чертежей объектов проводятся фотосъемочные работы, денифицирование (интерпретация) и координирование (привязка) снимков, измерение координат и параллаксов всех характерных точек объекта на стереокомпьютере с подготовкой абриса (иногда на увеличенных отпечатках снимков). Для получения цифровой модели объекта измерительная информация обрабатывается на мини-ЭВМ СМ-3 или СМ-4, так как они находятся в распоряжении лабора-

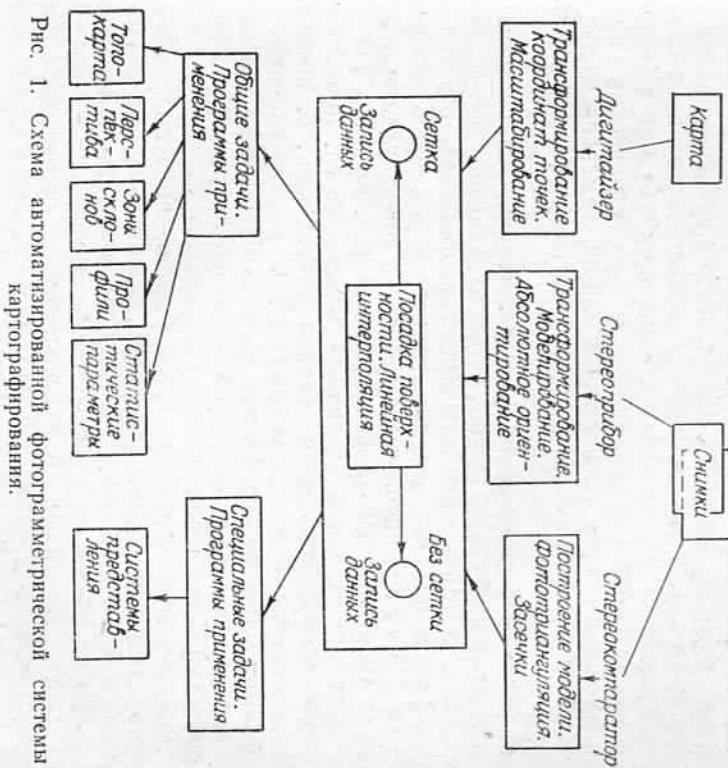


Рис. 1. Схема автоматизированной фотограмметрической системы картографирования.

тории и для них создан пакет необходимых программ. Результаты вычислений выводятся на печать и перфоленту, чтобы потом их можно было передавать на ЭВМ ЕС. Такой вынужденный вариант используют до приобретения к мини-ЭВМ графопостроителя и графического дисплея СМ-7300. После передачи данных с мини-ЭВМ на ЭВМ ЕС под управлением специальной информации воспроизводится картографическое изображение на автоматическом координатографе. Чертение обычно выполняется лишь после коррекции, редактирования и исправления чертежа при помощи графического дисплея ЕС-7905. Окончательная коррекция, дополнение и доработка составительского оригинала выполняются вручную. Для нанесения второстепенных деталей используются приближенно трансформированные снимки, по которым они рисуются вручную. То же самое относится к рельефу местности. При составлении плана местности пикетные точки рельефа наносятся машин-

ным образом, а рисовка горизонталей выполняется обычным методом при доработке и корректуре чертежа. Следует отметить, что для этого требуется мало времени, а задача всегда решается надежно и точно. В рассматриваемой системе особенно большое значение имеет возможность автоматической регистрации первичной исходной измерительной информации, т. е. применение автоматизированных стереокомпьютеров.

Для построения цифровых моделей объектов архитектурного наследия, ландшафтного образования или участка местности при обработке снимков используются различные функциональные модели (программы). В случае наличия достаточного числа опорных точек применяются программы «Коллинеарность» или «Компли-ции», позволяющие строгую обработку и неметрических снимков. Если в качестве опоры используются линии, измеренные в пространстве объекта, то целесообразно применять программы «Компла-парность».

Работа автоматизированной фотограмметрической системы картографирования. Каждой точке объекта соответствуют четыре числа: номер и три координаты (шестиразрядные). Массив первоначальной информации этих чисел выводится с помощью мини-ЭВМ СМ-3 или СМ-4 на перфоленту, с которой в последующем эти данные вводятся в ЭВМ ЕС-1060 и записываются на диск. На диске также хранится отдельно введенный массив чисел, представляющих собой логическую схему соединения точек, т. е. последовательность номеров точек, заканчивающаяся кодом их соединения (информация управления автоматического черчения). Эта информация управления вводится в ЭВМ с перфокарт, которую составляет фотограммист на основании абрисов.

В программе, выполняющей построения, предусмотрена возможность соединения точек пряммыми, сплайнами, окружностями и арками, можно зарисовать утолщенные, точечные и пунктирные прямые линии. Далее под управлением специальной программы DVARF и АК Дигитрафа 1612 вычерчивается чертеж в заданном масштабе согласно предписанной схеме соединения соответствующих точек объекта. Корректировка данных производится с помощью системы Примус через графический дисплей ЕС-7905. В данной системе используется АК Дигитраф 1612 с комплексом графических программ, составленных на языке Фортран «Графор».

Точностная эффективность. Выполненные исследования показали, что при обеспечении точности планового положения маркированных точек или линий в 5...10 мм и 5...10 см фотосъемку нужно выполнять в масштабах 1:250...1:500 и 1:2500...1:5000.

1: 5000 соответственно. При этом установлено, что эмпирическая точность по контурным точкам объекта практически получается примерно в два раза ниже. Следует заметить, что требуемая точность графических архитектурных чертежей согласно решениям Международного комитета архитектурной фотограмметрии должна составлять 1...2 см для масштаба 1: 50, 2...5 см — для масштаба 1: 100 и 0,5...1 см — для масштабов, применяемых в целях

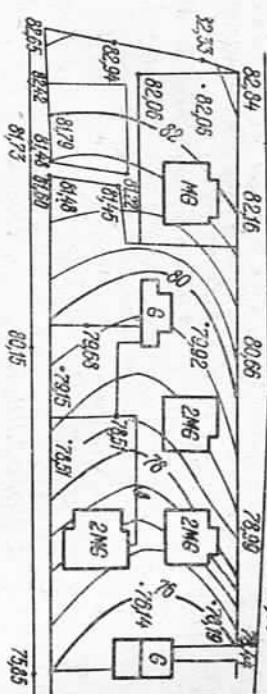


Рис. 2. Фрагмент топографического плана, масштаб 1 : 500, фокусное расстояние камеры 70 мм.

следования географических и геологических объектов достаточных масштабов 1 : 500... 1 : 1000. Таким образом, АФСК легко обеспечивает графическую точность 0,2... 0,5 мм картографических материалов при больших значениях коэффициента увеличения (чертеж-снимок), которые практически могут колебаться от $\times 5$ до $\times 10$. Конкретные их значения выбирают в зависимости от качества фотосъемочного материала и точностных требований решаемых задач.

Основные преимущества автоматизированной фотограмметрической системы картографирования заключаются в универсальности, надежности, точности и гибкости, так как она позволяет обрабатывать снимки при любых элементах внешнего и внутреннего ориентирования, включая и неметрические. В связи с этим появляется возможность широкого использования любительских фотокамер при фотографировании объектов как с подвижных, так и стационарных станций. При этом положительную роль должна сыграть крупномасштабная воз-

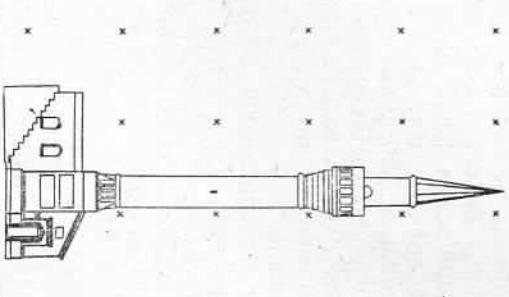


Рис. 3. Архитектурный чертеж минарета г. Кедайний масштаб 1:50.

душная съемка с баллонных подъемных средств небольших объектов, где обычная аэрофотосъемка нерентабельна.

Хорошо себя оправдал и упрощенный вариант АФСК, когда по полученным пространственным координатам точек на мини-ЭВМ СМ-3 или СМ-4 при помощи прецизионного координатора сравнительно быстро составляются необходимые графические чертежи.

Список литературы: 1. Лобанов А. И., Журкин И. Г. Автоматизация фотограмметрических процессов. — М.: Недра, 1980. 2. Ghosh Sanjib K. Analytical photogrammetry. — N. Y.: Pergamon Press, 1979. 3. Rüger W., Pietschner J., Regensburger K. Photogrammetrie. — Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1978. 4. Vainauskas V. Fotogrammetrija. — Vilnius: Moksas, 1977.

Статья поступила в редакцию 15.04.81

УДК 528.735

А. Л. ДОРОЖИНСКИЙ, О. В. ТУМСКАЯ

ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ МЕТОДОМ СВЯЗОК ПО ФОТОТЕОДОЛИТНЫМ СНИМКАМ

Практическая задача стгущения опорной сети в камеральных условиях возникла при детальных геолого-структурных исследованиях месторождений в северо-западном Тянь-Шане, рудоносные пластины которого выходят в узкое ущелье, один из склонов которого имеет высоту 400...600 м, крутизну 70...80° и протяженность 4 км. На таком почти вертикальном склоне необходимо определить параметры трещин, координаты выходов рудоносных пластов. Ввиду недоступности объекта для решения таких задач наиболее рационален фотограмметрический метод, а фототриангуляция, созданная по материалам фотогеодолитной съемки, является оптимальным способом стгущения обоснования. Поэтому нам разработан соответствующий алгоритм и создана программа для ЕС ЭВМ, позволяющие максимально использовать всю полезную информацию, получаемую из полевых работ при фотогеодолитной съемке.

Использование методов фототриангуляции по фотогеодолитным снимкам, в частности метода связок, как наиболее строгое, целесообразно при инженерных изысканиях с точки зрения точности и экономической эффективности [1, 4, 6].

Идея метода связок достаточно хорошо известна [2] и основана на соблюдении условий коллинеарности для всей совокупности точек, изображенных на фотоснимке.

Таким образом, идею метода можно позаимствовать из аэрофототриангуляции с учетом неперечисленных отличительных черт (исходные геодезические (опорные) данные более разнообразны и могут быть известны элементы внешнего ориентирования снимков):

1. В наземной фотосъемке с одной фотостанции можно получить несколько снимков (со скосами Φ_i влево—вправо, с наклоном главного оптического луча на углы $\omega_i \neq 0$).

2. Любой наклон либо скос фотокамеры приводит к пространственному смещению передней узловой точки объекта относительно фотостанции (закрепленной на местности с известными координатами), поэтому такие снимки нельзя рассматривать как полученные из одного центра проекции.

3. Исходными геодезическими (опорными) данными могут быть все или некоторые (в определенном сочетании) из нижеперечисленных величин:

пространственные (геодезические) координаты фотостанций $(X, Y, Z)_{Q_a}^r$, $(X, Y, Z)_{Q_n}^r$, где индексами л, п обозначена левая и правая фотостанции, длина базиса съемки B (или B_{lh} — горизонтальное проектирование), превышение правой фотостанции над левой B_z , дирекционный угол A ;

высоты h_l , h_n фотогеодолита над точками Q_{o_l} , Q_{o_n} ;

пространственные (геодезические) координаты корректурных точек $(X, Y, Z)_k^r$, расположенные на местности произвольно, но изображивающиеся, как минимум, на одной стереопаре;

горизонтальные направления β_i на корректурные точки, измеренные как отклонение направления от перпендикуляра к базису фотографирования (оси Y_Φ);

вертикальные направления y_i , измеренные как отклонение направления от горизонтальной плоскости $X_\Phi Y_\Phi$, проходящей через точку Q (рис. 1).

Возможна фиксация угловых элементов ориентирования по уровням и ориентиратору устройства.

4. Исходными фотограмметрическими данными являются элементы внутреннего ориентирования фотокамеры, расстояние между координатными метками (из паспорта прибора или из исследований), расстояния r (внешнепрентность объектива) от передней узловой точки S объектива до точки Q (см. рис. 1), отсчеты по шкалам стереокомпаратора x, z, p, q при наведении измерительной марки на координатные метки или точки фототриангуляционной сети (корректурные, связующие, определяемые, контрольные).

Построение сети фототриангуляции выполняется в три этапа: подготовительные геодезические вычисления; предварительная фотограмметрическая обработка; уравнивание блока фототриангуляции по методу связок.

На первом этапе различные опорные данные, относящиеся к базису фотографирования, приводятся к единому виду: координатам $(X, Y, Z)_{Q_a}^r$, $(X, Y, Z)_{Q_n}^r$ точек Q_a , Q_n . Если эти значения приближенные, то в процессе уравнивания они уточняются.

На втором этапе известным приемом [3] выполняют переход от отсчетов по шкалам стереокомпаратора к координатам точек