

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

В.С. ОРОБИНСКИЙ

ОСНОВЫ АЭРОФОТОГЕОДЕЗИИ

Учебное пособие

Владимир 2005

УДК 528.7(075)

ББК 26.12

О69

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
Владимирского государственного педагогического университета
В.М. Усоев

Доктор технических наук, профессор
Владимирского государственного университета
В.П. Валуйских

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Оробинский, В. С. Основы аэрофотогеодезии : учеб. пособие /
О69 В. С. Оробинский ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим.
гос. ун-та, 2005. – 72 с.
ISBN 5-89368-632-2

Содержит анализ аэроснимка, технологическую цепочку составления планов и карт контурно-комбинированным, дифференцированным и универсальным методами, а также использование материалов аэросъемки при проектировании и изысканиях автомобильных дорог.

Предназначено для студентов специальности 270205 (291000) – автомобильные дороги и аэродромы.

Табл. 5. Ил. 35. Библиогр.: 5 назв.

УДК 528.7(075)

ББК 26.12

ISBN 5-89368-632-2

© Владимирский государственный
университет, 2005

ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство изысканий и проектирования автомобильных дорог связано с составлением планов и карт методами наземных съемок – теодолитной, тахеометрической и мензурной, а также методами аэрофототопографической съемки. Для этих целей может быть использован аэроснимок, по которому производятся измерения и проектирование без предварительного составления плана. Выполнение измерений не на самих объектах и их фотографических изображениях более целесообразно и экономически выгодно. В пособии рассматривается аэроснимок как центральная проекция и связанные с ним искажения. Приводится технология составления планов и карт, процесс производства аэросъемки и применяемое при этом оборудование, фотограмметрическая обработка аэроснимка и процесс сгущения фотограмметрической сети, трансформирование аэроснимка с целью приведения его к требуемому масштабу и освобождение от перспективных искажений, составление по трансформированным аэроснимкам фотопланов. При этом составление планов и карт может быть выполнено контурно-комбинированным, дифференцированным и универсальным методами.

Рассматривается технология современных аэроизысканий автодорог и мостовых переходов в различных условиях местности, совершенствование и автоматизация проектно-изыскательских работ аэрогеодезическими методами. Также приводятся методы выполнения лабораторных работ на основе изучения теоретической части.

ВВЕДЕНИЕ

Возможность измерений не на самих объектах, а на их фотографических изображениях послужила широкому развитию и практическому применению аэрогеодезии. **Аэрофотогеодезия** (аэрогеодезия) – научно-техническая дисциплина, преследующая цель определения формы, размера и местоположения объекта в пространстве по его изображению на аэроснимках. Применительно к топографии аэрогеодезия изучает составление контурного или топографического плана местности.

Процесс получения аэроснимков и их последующая обработка представляют собой ряд самостоятельных дисциплин, каждая из которых является звеном в цепи технологического процесса: аэросъемка, аэрофотография, фотограмметрия, воздушная стереофотограмметрия. Составление плана местности сводится к отдельным методам съемок, каждый из которых преследует свою задачу: контурный – создается контурный план местности; контурно-комбинированный – контурная часть плана создается по аэроснимкам, а рельеф вычерчивается методом мензульной съемки; стереофотограмметрический – контурная и высотная части плана создаются в результате обработки аэроснимков. Эта же задача может быть решена с помощью наземной стереофотограмметрической, или фототеодолитной, съемки при которой обрабатывается изображение, полученное фотографированием с земли.

Таким образом, аэрогеодезия может заменить наземные виды съемок: теодолитную, тахеометрическую и мензульную.

Широкое применение ее оказалось возможным благодаря следующим достоинствам:

1) высокой точности измерений вследствие получения снимков прецизионными фотокамерами и выполнению обработки их на точных приборах с использованием ЭВМ;

2) высокой производительности, достигаемой благодаря измерениям не самих объектов, а их фотографических изображений;

3) достоверности и объективности результатов измерений вследствие получения изображения объектов фотографическим способом;

4) возможности оперативного получения информации о состоянии всего объекта или отдельных его частей;

5) возможности изучения движущихся объектов, что особенно важно при изучении скоротечных и медленно проходящих явлений;

6) возможности исследования объектов бесконтактным (дистанционным) способом, что имеет особое значение в условиях недопустимости объекта или опасности присутствия человека в зоне объекта.

Аэрогеодезия получила широкое применение в различных отраслях хозяйства страны: астрономии, гидротехнике, строительстве, археологии, военном деле, медицине, лесоустройстве, геологии, маркшейдерском деле и т.д.

В автодорожном строительстве аэрогеодезические методы применяются на всех стадиях – при изысканиях и проектировании, в строительстве и эксплуатации.

Процесс инженерных изысканий, выполняемых по аэроснимкам с воздуха, называется аэроизыскательским. Он состоит из аэрогеодезических, аэрогеологических и аэрогидрологических работ.

Аэроизыскания ведутся в целях наиболее целесообразного размещения сооружений и их частей в натуре и для определения всех необходимых сведений и данных о местности. При изысканиях автодорог аэрогеодезические методы являются доминирующими. С их помощью на аэроснимках выполняют все основные элементы проектно-изыскательских работ: укладку трассы, измерение ее длин и углов, нивелирование осей проектируемых сооружений и их поперечников; разбивку пикетажа, топографические съемки отдельных участков местности, решение ряда инженерных задач и т.д.

При изысканиях автодорог аэроснимки используются для определения границ водосборных бассейнов, уклонов, протяженности тальвегов, условий стока талых и ливневых вод. Для реконструкции дорог устанавливают: состояние и условия водоотвода, состояние и параметры земляного полотна, размеры основных элементов плана и профиля существующей

дороги, условия пересечения дороги с коммуникациями, размещение и основные размеры искусственных сооружений и т. д. В процессе эксплуатации с помощью аэрогеодезических работ определяют объем, состав, интенсивность и скорость движения, интервалы следования автомобилей, условия движения на кривых и т.д.

Аэрогеодезические методы обеспечивают ведение всех основных проектно-изыскательских работ на высоком уровне механизации, что особенно важно в условиях горной и труднопроходимой местности, где выполнение проектно-изыскательных работ геодезическими методами трудоемко.

Работы по совершенствованию аэрогеодезических методов ведутся на всех этапах составления планов и карт. Повышение качества изображений, их информационной ёмкости возможно за счет увеличения разрешающей способности системы "объектив – пленка". Это позволит выполнять аэросъемку в мелких масштабах и повлечет за собой уменьшение объема полевых работ. Совершенствование методов определения элементов взаимного и внешнего ориентирования в процессе аэросъемки на основе цифровых методов и микропроцессорной техники, сбора и регистрации бортовой информации, одновременного увеличения точности всепогодной съемки с использованием радиолокационных съемочных систем.

Совершенствование средств измерений по аэроснимкам ведется в направлении автоматизации составления планов местности с одновременным повышением точности определения координат.

Глава 1. АНАЛИЗ АЭРОСНИМКА

§ 1. Элементы теории перспективы

Аэроснимок представляет собой центральную проекцию, в которой центром проекции является узловая точка объектива, а элементы местности, фиксированные на аэропленке, строятся по законам центральной проекции.

В соответствии с этим законы центральной проекции полностью применимы к аэросъемке, что отражено на рис. 1.

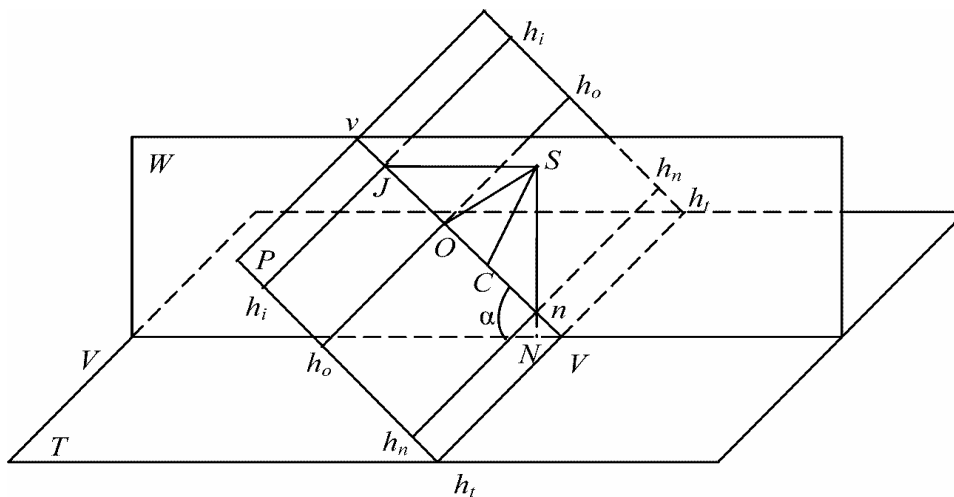


Рис. 1. Элементы теории перспективы

Основные элементы центральной проекции, характерные для аэро-съемки:

- плоскости:

T – предметная плоскость (местность);

P – картинная плоскость (аэроснимок);

W – плоскость главного вертикала;

- линии:

vv' – линия направления съемки;

vv' – главная вертикаль;

$h_i h_t$ – линия основания картины;

$h_i h_i$ – линия действительного горизонта;

$h_0 h_0$ – главная горизонталь;

SO – фокусное расстояние;

- точки и углы:

S – центр проекции;

O – главная точка аэроснимка;

C – точка нулевых искажений;

n – точка надира на аэроснимке;

N – точка надира на местности;

J – главная точка схода;

α – угол наклона аэроснимка.

В зависимости от угла наклона оптической оси аэрофотоаппарата аэроснимки подразделяются на плановые (углы наклона которых не превышают 3°) и перспективные (углы наклона которых более 3°), а аэросъемка в соответствии с этим подразделяется на плановую и перспективную. В топографических целях применяется только плановая аэросъемка.

Местоположение основных точек o , c , n , J определяется величинами отрезков oc , on , oJ (см. рис. 1):

$$oc = f \operatorname{tg} \alpha / 2, \quad on = f \operatorname{tg} \alpha, \quad oJ = f c \operatorname{tg} \alpha.$$

При плановой аэросъемке ($\alpha = 0^\circ$) точки o , c , n сливаются, а точка J находится в бесконечности.

§ 2. Элементы ориентирования аэроснимка

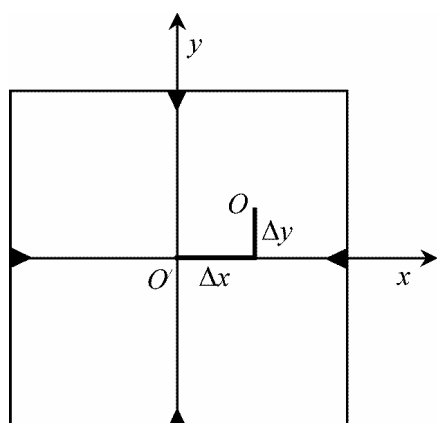


Рис. 2. Элементы внутреннего ориентирования

Элементы ориентирования аэроснимка подразделяются на элементы внутреннего и внешнего ориентирования.

Элементы внутреннего ориентирования – величины, определяющие положение аэроснимка относительно центра проектирования. Это фокусное расстояние f аэрофотоаппарата и координаты главной точки аэроснимка Δx и Δy в системе его координат (рис. 2). Величины f , Δx , Δy , называемые калибровочными элементами, определяются с

высокой точностью в лабораторных условиях и даются в паспорте аэрофотоаппарата (АФА). Координаты главной точки находят как уклонение от направления координатных осей аэроснимка X и Y , пересекающихся в результате соединения координатных меток, впечатываемых при производстве фотографирования.

В связи с высокими измерительными требованиями к аэросъемочным камерам координатные метки впечатываются с интервалом 2 см по всему полю аэроснимка и определяются координаты каждой из них.

Элементы внешнего ориентирования – величины, определяющие положение аэроснимка относительно геодезической системы координат. Линейными элементами внешнего ориентирования являются пространственные координаты центра проектирования: $X_s, Y_s, Z_s = H$ (H – высота фотографирования). Угловые элементы внешнего ориентирования определяют положение аэроснимка в азимутальной или пространственной системах.

В азимутальной системе направление главного луча характеризуется величинами A и α (рис. 3), где A – азимут, составленный плоскостью SNO с направлением оси X ; α – угол наклона аэроснимка.

В пространственной системе направление главного луча характеризуется величинами: α – продольный угол наклона и ω – поперечный угол наклона.

В обоих случаях разворот аэроснимка в своей плоскости характеризуется углом κ .

Таким образом, элементы внешнего ориентирования одиночного аэроснимка в азимутальной системе координат $X_s, Y_s, Z_s = H, A, \alpha, \kappa$; в пространственной системе координат – $X_s, Y_s, Z_s = H, \alpha', \omega', \kappa'$.

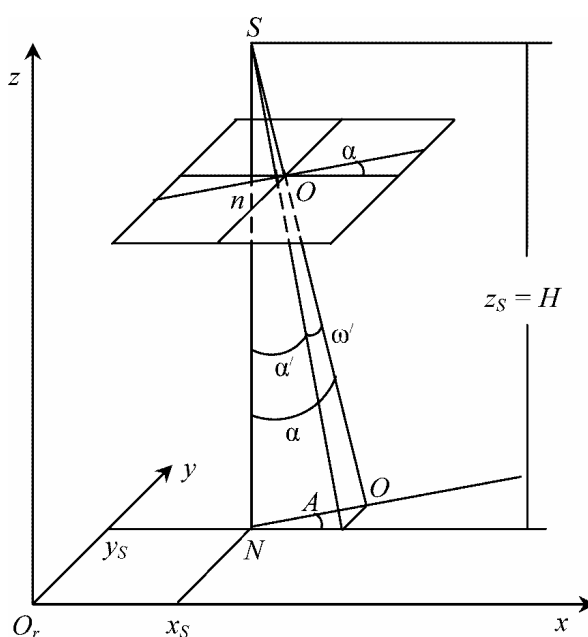


Рис. 3. Элементы внешнего ориентирования аэроснимка

§ 3. Связь точек аэроснимка и местности

Рассмотрим идеальный случай съемки, когда аэроснимок горизонтальный и снимаемая местность – плоскость. Из подобия треугольников, образованных проектирующей связкой лучей (рис. 4), находим отношение отрезков аэроснимка и местности $\frac{X}{x} = \frac{H}{f}$, откуда $X = x \cdot H / f$.

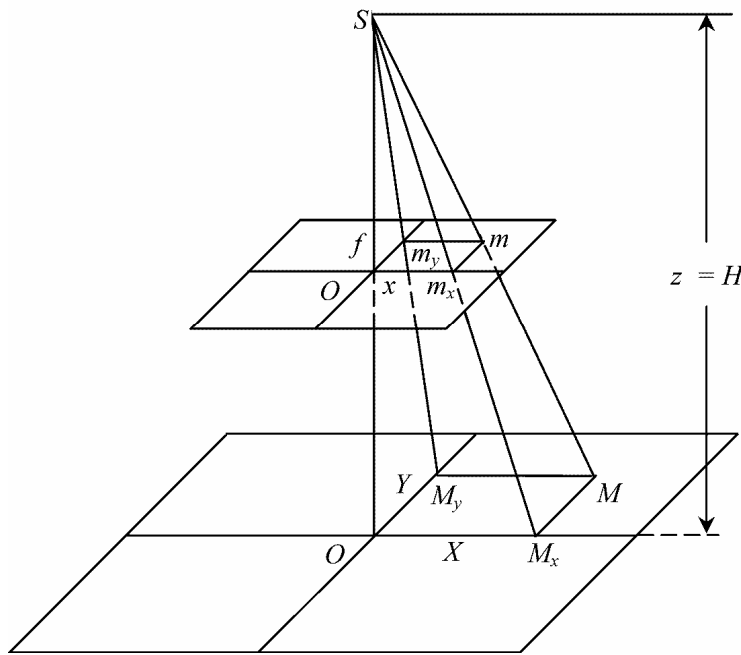


Рис. 4. Связь точек аэроснимка и местности (идеальный случай)

По аналогии $Y = y \cdot H / f$.

Для любой точки на аэроснимке во всех случаях масштабный множитель H / f , в соответствии с которым масштаб горизонтального аэроснимка определяется из соотношения

$$1 / m = f / H, \quad (1)$$

где m – знаменатель масштаба аэроснимка; f – фокусное расстояние АФА; H – высота фотографирования.

Для общего случая значения координат X и Y могут быть найдены из условия коллинеарности и поворота осей снимка до совмещения их с выбранными в соответствии с формулами косинусов (рис. 5).

Формулы определения координат на местности по измерениям на аэроснимках, предложенные впервые А.Н. Лобановым

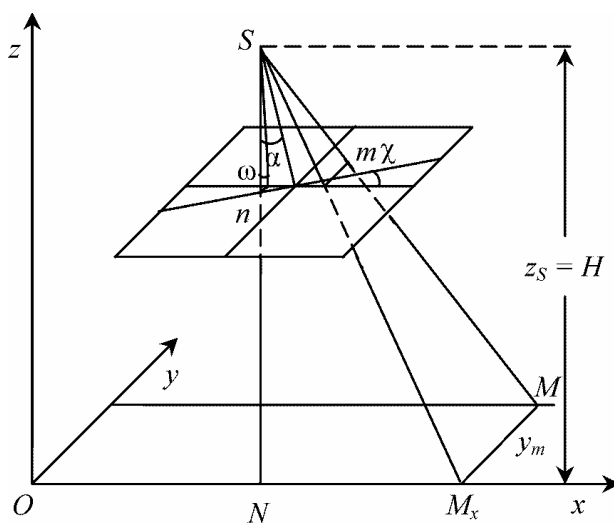


Рис. 5. Связь точек аэроснимка и местности (общий случай)

в 1947 году, приводятся в большинстве учебников по аэрогеодезии и заключаются в следующем:

$$\begin{aligned} X_S &= Z_S(a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3f) / (c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f), \\ Y_S &= Z_S(b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3f) / (c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f), \end{aligned} \quad (2)$$

где X_S, Y_S, Z_S – координаты точки фотографирования; f, x_0, y_0 – элементы внутреннего ориентирования; a_i, b_i, c_i – направляющие косинусы элементов внешнего ориентирования α, ω, κ , составленные осями X, Y, Z соответственно.

Направляющие косинусы определяются из выражений:

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha \cos \omega - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa; \\ a_2 &= -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \cos \kappa; \\ a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega; \\ b_1 &= \cos \omega \sin \kappa; \\ b_2 &= \cos \kappa \cos \omega; \\ b_3 &= -\sin \omega; \\ c_1 &= -\cos \kappa \sin \alpha + \sin \kappa \sin \omega \cos \alpha; \\ c_2 &= -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \kappa \sin \omega \cos \alpha; \\ c_3 &= \cos \alpha \cos \omega. \end{aligned}$$

В случае горизонтального снимка элементы внешнего ориентирования $\alpha = \omega = \kappa = 0$ и тогда $a_1 = b_1 = c_1 = 1$, в соответствии с чем, при $x_0 = y_0 = 0$ значения величин $X_S = Y_S$:

$$X_S = Z_S \frac{x}{f}; Y_S = Z_S \frac{y}{f}, \quad (3)$$

что согласуется с ранее найденными значениями.

§ 4. Факторы, обуславливающие смещение точек на аэроснимке

Измерительные качества аэроснимка зависят от точности изображения на нем точек местности, обусловленной двумя группами факторов – физическими и методическими.

К физическим факторам относятся следующие искажения: нерезкость изображения, общее смещение точек, рефракция, неприжим аэропленки, дисторсия объектива, деформация аэропленки.

Нерезкость изображения вызывается недостаточно высокой разрешающей способностью системы "объектив – пленка", которая определяется величиной 40 линий на 1 мм. При этом точки получаются размытыми, что снижает точность измерений, но не влечет изменения взаимного положения объектов.

Общее смещение точек вызывается движением самолета в момент фотографирования, что особенно сказывается при фотографировании с малых высот. Действие этого фактора не искажает взаимного расположения точек, но вследствие "смаза" снижается точность измерений. Действие этого фактора исключается движением пленки в обратном направлении в момент экспонирования или поворотом объектива.

Рефракция – искривление луча при прохождении его через слои воздуха неодинаковой плотности. При фотографировании с небольших высот этот фактор значения не имеет.

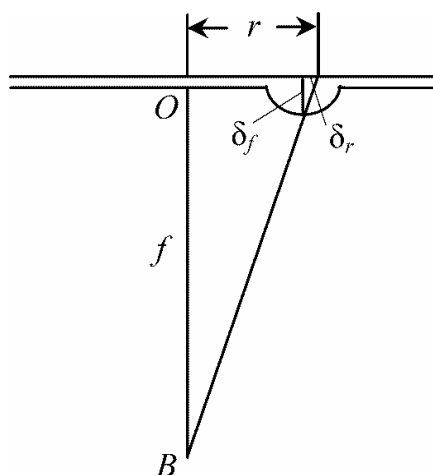


Рис. 6. Неприжим аэропленки

Дисторсия объектива не должна превышать 0,02 мм, в противном случае объектив для съемки в топографических целях использован быть не может.

Неприжим аэропленки в момент экспонирования вызывает снижение измерительных качеств аэроснимка.

Если величина δf (рис. 6) представляет уклонение пленки от плоскости, а δr – линейное смещение точки на аэроснимке, то величина уклонения

$$\delta r = (\delta f \cdot r) / f. \quad (4)$$

Ввиду непостоянства этого фактора, контроль его осуществляется на каждом снимке, а выравнивание пленки в плоскость производится натяжением ее, прижимом к выравнивающему стеклу, созданием положительного и отрицательного давлений.

Деформация аэропленки уменьшается или полностью исключается применением недеформирующихся основ (а в отдельных случаях стекла). Для полного исключения этого фактора в основу пленки вводятся металлические добавки. Заметим, что равномерная деформация искажений не вносит, а ведет к незначительному изменению масштаба.

К методическим факторам относятся смещение точек за рельеф и угол наклона. Смещение точек за рельеф на аэроснимке легко понять из чертежа (рис. 7). Возьмем точки A и B , расположенные на различных высотах местности, и ортогонально их спроектируем на среднюю скорость T . В результате получим точки A_0 и B_0 , которые изобразились бы в точках a_0 и b_0 , если бы располагались на горизонтальной плоскости. Однако их изображение будет в точках a и b ? а величина смещения их на a/cn^* будет определяться отрезком aa_0 и bb_0 . Определим величину этого искажения, рассмотрев подобные треугольники Sa_0O и SA_0A , из которых $aa_0/AA_1 = f/H$; $aa_0 = A_0A_1 (f/H)$, а из подобных треугольников AA_0A_1 и $a_0o s$.

$A_0A_1 = a_0 h/f$. Обозначив oa_0 через r , а aa_0 через δ_h , окончательно получим

$$\delta_h = (rh) / H, \quad (5)$$

т.е. смещение отдельных точек на a/cn , обусловленное рельефом, прямо пропорционально удалению точки от центра a/cn и превышению ее и обратно пропорционально высоте фотографирования.

Направление смещения точки определяется знаком превышения. При положительном превышении смещение точки идет от центра, при отрицательном – к центру.

Пример. Определить смещение точки, обусловленное рельефом местности при $h = + 50$ м, $H = 500$ м, $r = 70$ мм.

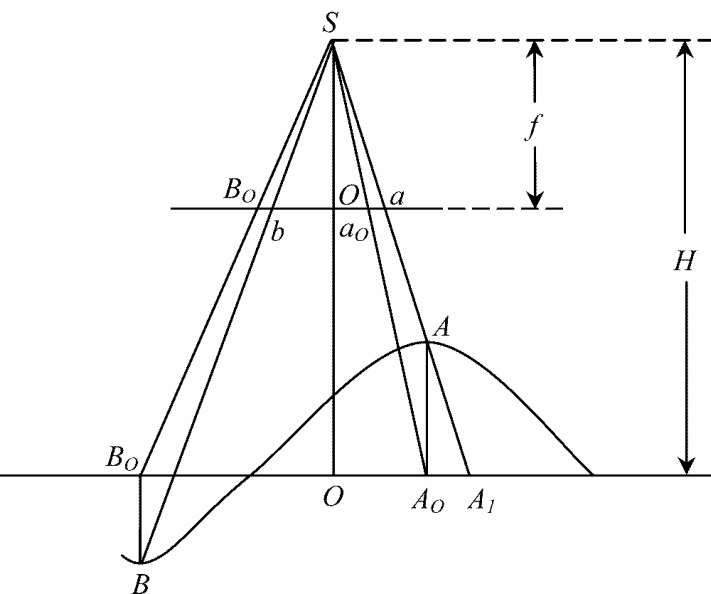


Рис. 7. Искажения за рельеф

$$\delta_h = 7 \text{ мм.}$$

* Здесь и ниже a/cn – аэроснимок

Смещение точек за угол наклона аэроснимка имеет меньшее значение, так как современная тенденция направлена на устранение этого фактора во время полета, а кроме того, искажение за угол наклона имеет закономерность, что упрощает его учет, и определяется из выражения:

$$\delta_{\alpha} = - (r^2 / f) \sin \alpha \sin \varphi; \quad (6)$$

$$\delta_{\alpha\text{MAX}} = (-r^2\alpha) / f \rho, \quad (7)$$

где δ_{α} – искажение, обусловленное углом наклона, мм; r – удаление точки от его центра, мм; f – фокусное расстояние аэрокамеры, мм; α – угол наклона аэроснимка, град; φ – угол, составленный направлением на точки с осью Y аэроснимка, град; $\delta_{\alpha\text{MAX}}$ – максимальное искажение в пределах аэроснимка, мм; $\rho = 57^{\circ}3'$.

Пример. Определить максимальное искажение при $\alpha = 2^{\circ}$, $r = 70$ мм., $f = 100$ мм.

$$\delta_{\alpha\text{MAX}} = -1,6 \text{ мм.}$$

Глава 2. АЭРОФОТОСЪЕМКА

§ 1. Общие положения, оборудование, аэросъемочный процесс

Аэрофотосъемкой называется фотографирование земной поверхности с летательного аппарата – самолета, вертолета, воздушного шара, спутников. В последнем случае съемка называется космической. Для картографических целей применяется фотографирование только с самолета.

В аэросъемочных целях применяются самолеты АН-2, ИЛ-14, АН-30, последний выпускается как специально созданный для аэросъемки самолет. При фотографировании небольших участков может быть использован вертолет КА-26. Однако применение вертолетов сопряжено с неустранимыми вибрациями.

Для целей аэросъемки в последнее время применяются беспилотные летательные средства. Например, Харьковским авиационным институтом создан радиоуправляемый самолет, который весит 10 кг. Подобные самолеты применяются и в зарубежной практике, например, в ФРГ (5 кг), навигационная система в США (75 кг).

Для производства аэросъемки используется полуавтоматический АФА. Основные детали аэрофотоаппарата (рис. 8): 1 – кожух; 2 – кассета; 3 – объектив; 4 – прижимное стекло; 5 – аэропленка; 6 – сматывающая катушка; 7 – наматывающая катушка; 8 – амортизатор; S – центр проекции; f – фокусное расстояние.

В настоящее время для топографических целей применяют АФА – ТЭ, АФА-41, снабженные объективами типа "Руссар" и имеющие разрешающую способность 40 линий на 1 мм в центре и не менее 12 линий на 1 мм с краю. АФА

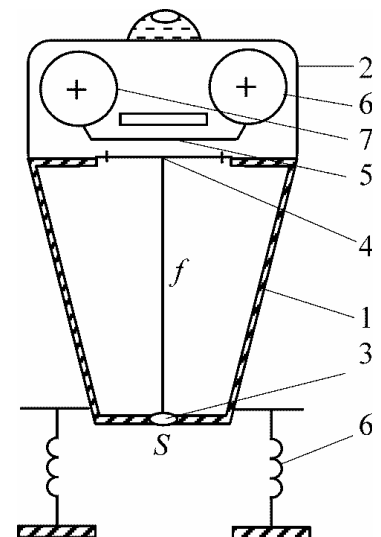


Рис. 8 Схема аэрофотоаппарата

должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) поверхность выравнивающего стекла не должна отличаться от плоскости более чем на 0,01 мм;
- 2) координаты главной точки объектива должны быть не более 0,2 мм;
- 3) координаты метки при шестикратном увеличении должны иметь симметричную форму с четко очерченным острием.

Одновременно с фотографированием используются специальные приборы: радиовысотмер, статоскоп и гиросtabilизирующая установка.

Аэросъемка производится последовательным переходом с маршрута на маршрут с курсом 90 или 270^0 (рис. 9), т.е. с запада на восток или с востока на запад с промежуточным контролем по ориентирам местности, в качестве которых используются населенные пункты, элементы гидрографии, дорожная сеть и т.д. На каждом маршруте необходимо выбрать 2 – 3 ориентира. В случае вытянутости участка в каком-либо одном направлении фотографирование ведется параллельно большей стороне.

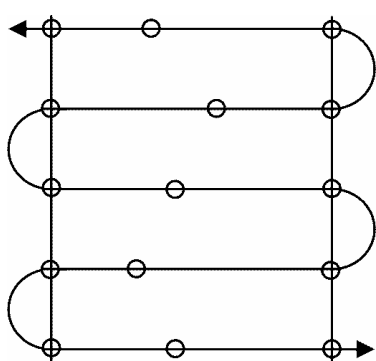


Рис. 9. Схема залета

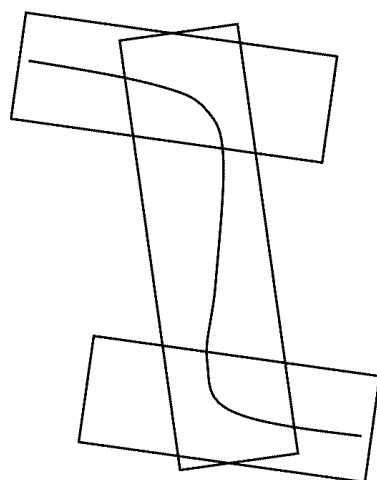


Рис. 10. Схема залета

Для дорожных проектно-изыскательских работ выполняют плановую маршрутную аэросъемку только в пределах участка расположения трассы дороги и ее вариантов. Границы аэросъемочных работ определяются по данным предварительного трассирования по карте или по результатам аэровизуальных наблюдений. Подлежащую аэросъемке территорию разбивают на ряд прямоугольных участков (рис. 10). В продольном направлении соседние маршруты располагают под углом друг к другу в виде ломаной полосы, а в поперечном направлении маршруты прокладывают параллельно друг другу с заданным поперечным перекрытием.

При плановой аэросъемке, выдавая задание на фотографирование, необходимо определить:

- 1) площадь участка;
- 2) масштаб аэросъемки;
- 3) фокусное расстояние;
- 4) количество маршрутов и снимков.

Масштаб фотографирования выбирается в зависимости от масштаба создаваемого плана и принимается в большинстве случаев в 1,2 – 1,5 раза мельче масштаба плана, т.е., если масштаб создаваемого плана 1 : 10000, масштаб аэросъемки: 1 : 12000 – 1 : 15000.

В последнее время выбирается масштаб залета мельче масштаба плана до 4 раз.

При изысканиях автодорог съемку вариантов трассы проводят в масштабе 1 : 25000 – 1 : 5000, а для проектирования мостовых переходов и придорожных сооружений – в масштабе 1 : 5000 – 1 : 2000. Проектируется также выполнение аэросъемки в двух масштабах одновременно двумя АФА.

§ 2. Основные фотографические характеристики светочувствительного слоя

Светочувствительный слой представляет собой нанесенную на стекло, целлулоид или бумагу тонкую желатиновую пленку, в которой распылены кристаллики галоидного серебра (бромистого, хлористого или йодистого). Он характеризуется светочувствительностью, вуалью, фотографической шириной, контрастностью и спектральной чувствительностью.

Светочувствительность – понятие условное, выработанное по соглашению, характеризуется степенью почернения двух фотографических слоев, один из которых при одинаковой экспозиции чернеет больше. В каждой стране светочувствительность выражается в принятых единицах: в нашей стране – в единицах ГОСТ, в ГДР – ДИН (динстиндустринорм), в США – ХиД (шкала Хамфера и Дриффеля).

Фотографическая ширина – способность фотоматериала качественно воспроизводить объекты, требующие разной экспозиции.

Контраст характеризует возможность фотоматериала воспроизводить не выделяющиеся на местности или негативе объекты.

Вуаль – степень почернения фотоматериала при обработке его без предварительного экспонирования.

При воздушном фотографировании используется черно-белая аэропленка "Пахром", тип 10, 11, 17, цветная (трехслойная) и спектральнозональная (двухслойная). Размер пленки 19 × 2800 см при размере кадра 18 × 18 см.

По завершении летно-съемочных работ проводится фотолабораторная обработка пленки, заключающаяся в проявлении, фиксировании, про-

мывке и последующей контактной печати позитивов на фотобумагу или диапозитивов на стекло.

§ 3. Оценка качества залета

Результаты аэросъемки контролируются по фотограмметрическим, фотографическим и техническим качествам.

К фотограмметрическим качествам относят продольное и поперечное перекрытия, "елочку", угол наклона, непрямолинейность маршрута, выдерживание высоты фотографирования, выравнивание пленки, совпадение с границами участка.

Продольное перекрытие определяется общей площадью местности, изобразившейся на двух соседних аэроснимках. Продольное перекрытие должно быть не менее 55 % при заданном, определяемом по формуле

$$P = 62 + 50 \frac{h}{H}, \% \quad (8)$$

где P – продольное перекрытие; h – максимальное превышение над средней плоскостью; H – высота фотографирования.

Величина продольного перекрытия определяется из выражения

$$P = p \cdot 100 / l,$$

где l и p – величины, измеряемые миллиметровой линейкой по накладному монтажу (рис. 11).

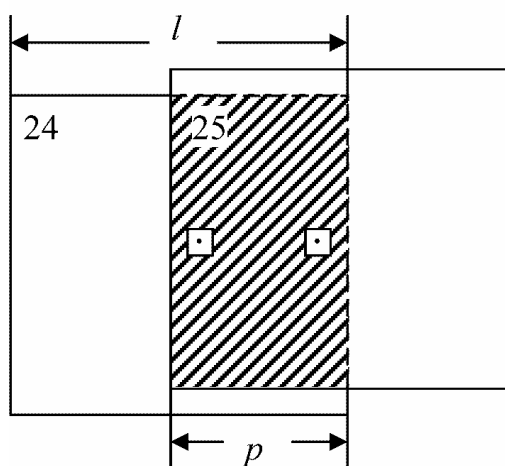


Рис. 11. Продольное перекрытие

Поперечное перекрытие Q определяется общей площадью местности, изобразившейся на двух соседних маршрутах. Поперечное перекрытие должно быть не менее 20 % от рассчитанного в соответствии с выражением

$$Q = 32 + 50 \frac{h}{H}, \% \quad (9)$$

Величина поперечного перекрытия определяется по формуле

$$Q = q \cdot 100 / l,$$

при этом l и q измеряются по накладному монтажу (рис. 12).

"Елочка" – угол, составленный направлением линии базиса фотографирования OO_1 и осью x аэроснимка. Этот угол не должен превышать 5° . Для его определения находят центральные точки на двух соседних снимках в маршруте на пересечении линий, соединяющих координатные метки. По контурам на аэроснимках центральные точки перекалываются, и полученные центры на правом и левом снимках соединяются, после чего транспортиром измеряется угол разворота (рис. 13).

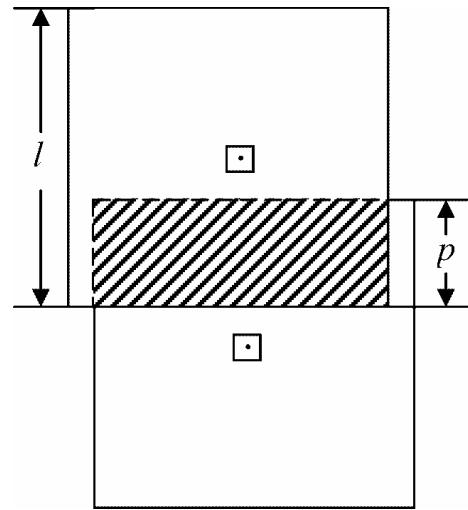


Рис. 12. Поперечное перекрытие

Углы наклона аэроснимка не должны превышать 3° . Величина угла наклона контролируется по круглому уровню, впечатываемому на каждом аэронегативе в момент экспонирования.

Непрямолинейность маршрута – отклонение главных точек аэроснимка $O_1, O_2, O_3, \dots, O_N$ от прямой, соединяющей конечные точки маршрута O_1O_n (рис. 14).

Величина его определяется отношением наибольшего отклонения (стрелки прогиба Δl) к длине маршрута L в соответствии с выражением

$$\Delta l/L \cdot 100 \% \leq 3 \%$$

Эта величина не должна превышать 3 %.

Колебание высоты фотографирования в пределах съемочного маршрута не должно превышать 25 м, а в пределах съемного участка – 50 м. Контроль этого фактора осуществляется с помощью спецприборов – радиовысотомера и статоскопа, показания которых фотографируются на пленку одновременно с экспонированием аэроснимка.

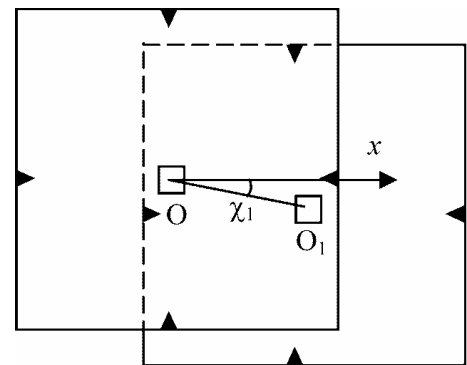


Рис. 13. "Елочка"

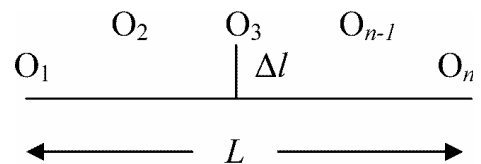


Рис. 14. Непрямолинейность маршрута

Выравнивание пленки в плоскость контролируется с помощью параллактических нитей, впечатываемых на каждом аэронегативе в момент экспонирования. Уклонение контрольной нити от прямой, или ее размытость, не должно превышать 0,1 мм.

Съемочные маршруты должны быть параллельны рамкам участка и охватывать за границами его не менее одного базиса. В поперечном направлении участок должен перекрываться не менее чем на половину базиса.

Аэронегативы и аэроснимки должны быть правильно обработаны и хорошо промыты. Их плотность должна отвечать эталону, не должно быть полос проявления, механических повреждений.

Фотографирование должно начинаться через час после восхода солнца и заканчиваться не позднее, чем за час до его захода, чтобы тени не превосходили тройной величины объекта. На аэронегативах не должно быть облаков и теней от них.

При несоответствии нормативным значениям хотя бы одного из факторов, залет повторяется, т.к. аэросъемка от общей стоимости работ по составлению карт не превосходит 6 – 8 %.

Глава 3. КОНТУРНО-КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД СЪЕМКИ

§ 1. Сущность контурно-комбинированного метода съемки

Метод, при котором планы и карты создаются фотограмметрическим путем, а рисовка рельефа и дешифрирование контуров осуществляются топографическим способом, называют контурно-комбинированным. Технология составления плана включает в себя следующие этапы: аэрофотосъемочный процесс, плановую привязку опознаков, составление мозаичных фотопланов, рисовку рельефа, дешифрирование контуров, составление и издание планов. Этот метод разработан профессором Н.М. Алексапольским в 1924 году и применяется в закрытых (растительностью или строениями) районах.

Фотограмметрическая часть работ обусловлена необходимостью приведения аэроснимка к плану местности по следующим причинам:

- 1) аэроснимок имеет искажения, обусловленные центральной проекцией (ошибка за рельеф);
- 2) аэроснимок имеет перспективные искажения;
- 3) масштаб аэроснимка не соответствует масштабу плана из-за проведения залета в другом масштабе и колебаний высоты фотографирования в момент съемки;
- 4) аэроснимок имеет произвольную систему координат.

Приведение аэроснимков в соответствие с планом местности осуществляется двумя способами – определением элементов внешнего ориентирования в полете и последующим использованием этих установочных элементов или использованием геодезических данных. Второй способ получил более широкое распространение. С этой целью в углах рабочей площади аэроснимка выбираются четыре точки – опознаки (рис. 15).

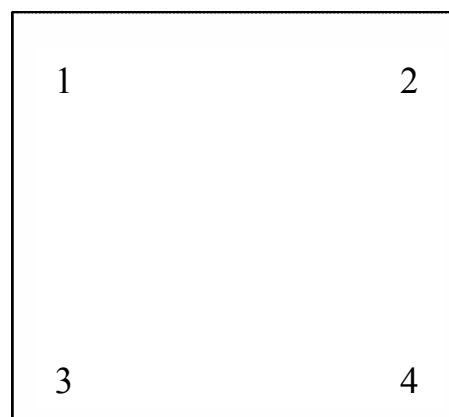


Рис. 15. Расположение опознаков

Опознаком называют точку местности, опознанную на аэроснимке и определенную геодезически. В качестве опознака может быть выбран любой четко выраженный на местности контур – перекресток дорог, угол забора, отдельно лежащий камень и т.д. В бесконтурной местности производится предварительная маркировка опознаков, заключающаяся в установке на местности фигур правильной геометрической формы (Т-образных, Г-образных, круглых и т.д.) в виде вырубаемого участка леса или насыпки материала, контрастного с местностью.

В результате совмещения опознаков и этих же точек, нанесенных на планшет по координатам, получается аэроснимок, свободный от перспективных искажений и в требуемом масштабе.

§2. Камеральные работы при контурно-комбинированной съемке

Камеральные работы при контурно-комбинированной съемке сводятся к фотограмметрической обработке аэроснимков с целью получения фотоплана, для чего производится трансформирование снимков и последующая наклейка их на планшет. Трансформирование может быть выполнено следующими способами: аналитическим, графическим, фотомеханическим, оптическим и графомеханическим. Наибольшее распространение получили аналитический и фотомеханический способы.

Аналитический способ сводится к вычислению плановых координат x, y соответствующих точек аэроснимка с помощью выражений

$$\begin{aligned} x &= -f(a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3f) / (c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f); \\ y &= -f(b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3f) / (c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f), \end{aligned} \quad (10)$$

где f, x_0, y_0 – элементы внутреннего ориентирования аэроснимка;

a_i, b_i, c_i – направляющие косинусы, вычисляемые по формулам (3) как функции угловых элементов внешнего ориентирования снимка.

Если элементы внешнего ориентирования неизвестны, трансформирование производят по опорным точкам, используя формулы (2), при этом полагая $X_S = Y_S = 0, Z - Z_S = -H$, тогда

$$\begin{aligned} X &= -H(a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3f) / (c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f); \\ Y &= -H(b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3f) / (c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f). \end{aligned} \quad (11)$$

Разделив числитель и знаменатель на $-c_3f$, получаем:

$$\begin{aligned} X &= (A_1(x - x_0) + A_2(y - y_0) - A_3f) / (C_1(x - x_0) + C_2(y - y_0) + 1); \\ Y &= (B_1(x - x_0) + B_2(y - y_0) - B_3f) / (C_1(x - x_0) + C_2(y - y_0) + 1); \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= H / (a_1 / c_3f); \quad A_2 = H / (a_2 / c_3f); \quad A_3 = -H / (a_3 / c_3f); \\ B_1 &= H / (b_1 / c_3f); \quad B_2 = H / (b_2 / c_3f); \quad B_3 = -H / (b_3 / c_3f); \\ C_1 &= c_1 / c_3f; \quad C_2 = -(c_2 / c_3f). \end{aligned} \quad (13)$$

Эти коэффициенты определяют перспективную зависимость между наклонным и горизонтальным снимками и называются элементами трансформирования. Одна опорная точка позволит составить два уравнения и, следовательно, для определения восьми неизвестных из выражений (13) необходимы четыре опорные точки, что позволит по измеренным на снимке величинам x, y вычислить трансформирование величины этих же точек.

Фотомеханический способ используют при составлении фотопланов, основной прибор при этом – фототрансформатор, служащий для приведения перспективных равномасштабных снимков к требуемому масштабу и освобождения от перспективных искажений, что достигается угловыми и линейными движениями экрана, объектива и кассеты. В нашей стране получили распространение фототрансформаторы ФТБ, ФТМ, "Ректимат", независимо от конструкций которых выполняются два условия с целью оптического сопряжения кассеты, объектива и экрана.

Первое из них – поддержание соотношения

$$1/\alpha + 1/\alpha_1 = F,$$

где α и α_1 – расстояние от кассеты до объектива и от объектива до экрана; F – фокусное расстояние объектива.

Второе условие – правило Т. Шеймфлюга, в соответствии с которым кассета, объектив и экран должны пересекаться по одной прямой. Эти два условия выполняются в трансформаторе линейным и угловым инверсорами.

Большой фототрансформатор (ФТБ) служит для трансформирования плановых и перспективных снимков. С его помощью возможно увеличение в пределах $(0,7 - 5,0)^{\times}$ при наклоне экрана до $\pm 45^{\circ}$.

Трансформирование снимков. Предварительно на планшете увеличивают наколы точек и смывают все пометки тушью, выполняемые на цел-

лулоидной стороне негатива в процессе работы с ним. Далее определяют толщину подложки с целью введения поправки за деформацию фотобумаги.

Контактно печатают сетку Готье, и после обработки фотобумаг в растворах, как при обработке при фототрансформировании, определяют коэффициент деформации фотобумаги (K_d) из выражения $K_d = \Sigma l / \Sigma L$, (рис. 16).

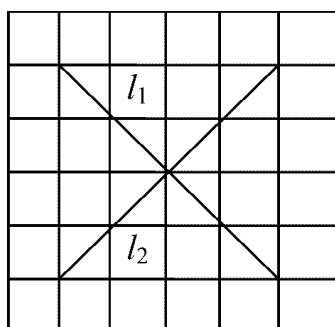


Рис. 16. Сетка Готье

где Σl – длина отрезков на фотобумаге; ΣL – длина отрезков на сетке Готье (рис. 16).

Толщина подложки находится из выражения

$$\Delta = K_d f_k,$$

где f_k – фокусное расстояние объектива трансформатора.

В процессе трансформирования на экран укладываем планшет, а негатив вставляем в кассету эмульсионной стороной вниз. Линейными перемещениями и вращениями экрана, объектива и кассеты добиваемся совмещения точек аэронегатива и планшета. Добившись этого совмещения, подкладываем под фотобумагу подложку, а затем производим экспонирование, фотолабораторную обработку, промывку и сушку без предварительного подогрева во избежание неравномерной деформации. Полученные снимки приведены к требуемому масштабу и свободны от искажений за угол наклона. Но эти снимки не свободны от обусловленных рельефом местности ошибок, для исключения которых проводится трансформирование по зонам.

Зоной называют часть трансформированного снимка, в пределах которой смещения за рельеф не превышают заданной величины. Рассчитаем по формуле (5) предельное значение превышения, при котором смещения точек не превысят предельной величины δ_h , преобразовав ее в вид

$$H = (\delta_h H) / r.$$

Принимаем допустимое уклонение точки равным $\pm 0,4$ мм, тогда уклонение в пределах зоны над средней плоскостью составит 0,8 мм, что и используем для расчетов величины зоны.

При трансформировании предварительно наносят горизонтали (например с карты мелкого масштаба). В трансформационные точки вводят рассчитанные по формуле (5) и соответствующие положению каждой зоны поправки, на которые и производится трансформирование. В дальнейшем

при монтаже используют часть снимка, соответствующую зоне. Трансформирование по зонам может быть произведено по измерению отрезка (например расстояния между координатными метками снимка) для каждой зоны. Чтобы уменьшить количество зон, целесообразнее производить аэросъемку длиннофокусным АФА.

Смонтированный план контролируют по опорным точкам, порезам (для чего прикладывают отрезки снимков и с интервалом 2 см производят проколы) и смежным трапециям. С этой целью составляют корректурный лист (рис. 17). Расхождения по опорным точкам не должны превышать 0,4 мм, по контурам – 0,7 мм, по сводкам – 1 мм для равнинных районов. С полученного мозаичного фотоплана делают фотографическим путем репродукцию.

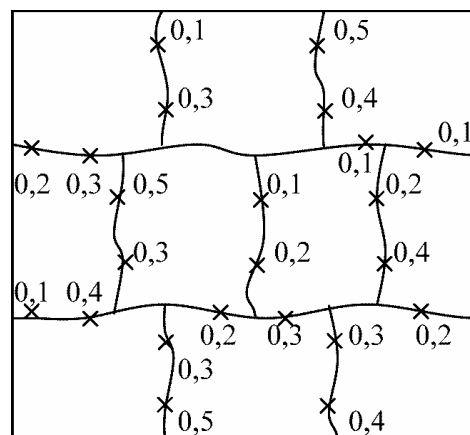


Рис. 17. Монтаж фотоплана

Фотосхемой называют фотографическое изображение местности, составленное из нетрансформированных аэроснимков. Фотосхемы бывают маршрутные и площадные, а по точности – уточненные и простые.

Уточненные фотосхемы составляют по такой же технологии, что и фотоплан, при этом в качестве опорной сети используют опорные точки, снятые с карты более мелкого масштаба или полученные в результате фотограмметрического сгущения на основе опознаков, снятых с карты.

Простые фотосхемы монтируют по начальным направлениям или по контурам.

При монтаже по начальным направлениям выбирают и накладывают центральные точки и переносят их на соседние снимки. На печатных снимках карандашом проводят начальные направления, соединяя центральные точки. Посередине продольных перекрытий вблизи начальных направлений на нечетных снимках накалывают контрольные точки, а на четных снимках пробивают отверстия пуансоном. Приступают к монтажу фотосхемы. С этой целью совмещают точки начальных направлений четных и нечетных снимков, производят порезы в середине продольных и поперечных перекрытий и приклеивают к картону малодеформирующим клеем. Производят контроль по порезам и окончательно оформляют фотосхему.

Простые фотосхемы также монтируют по контурам. В этом случае совмещают контуры соседних снимков и контролируют их совмещение

наколами иголкой. Убедившись в наилучшем варианте совмещения, производят порез, выполняемый двояким способом – по надрезу эмульсий или с полным порезом. Точность фотосхемы, полученной с использованием начальных направлений, выше точности фотосхемы, смонтированной по контурам.

Обеспечение каждого аэроснимка четырьмя опознаками требует большого объема полевых работ даже при условии, что часть точек будет находиться в зоне продольного и поперечного перекрытий и будет общей для нескольких снимков. Для уменьшения объема полевых работ производится сгущение опорной сети в камеральных условиях.

§3. Составление фотопланов и фотосхем

Фотоплан – фотографическое изображение местности, удовлетворяющее по точности требованиям, предъявляемым к плану. Фотоплан составляют по трансформированным снимкам путем монтажа их на основу по опорным точкам, полученным в поле или в результате построения фотограмметрической сети. Фотопланы обычно составляют в рамках трапеций государственной картографической разграфки. Основные этапы монтажа фотоплана – подготовка основы, трансформированных снимков, монтаж фотоплана, контроль и оформление фотоплана.

Подготовка основы сводится к накладке на планшет с помощью координатографа рамок трапеций и точек опорной сети, полученных в полевых условиях или в результате фотограмметрического сгущения геодезической сети.

Подготовка снимков заключается в подборе снимков и пробивке отверстий на опорных точках пуансоном.

Монтаж фотоплана начинают с северного маршрута. На основу кладут первый снимок, центры пробитых отверстий которого совмещают с соответствующими точками основы (при этом расхождения не должны превышать 0,4 мм). Аналогично укладывают второй снимок, проверяют сходимость контуров в середине продольного перекрытия, для чего производят проколы тонкой иглой. Уклонения наколов от соответствующих контуров не должны превышать 0,6 мм. Разрезают скальпелем снимки в середине перекрытия, стараясь, чтобы линия пореза не пересекала населенные пункты, важные объекты, а также линейные объекты – дороги, ре-

ки и т.д. Отложив обрезки, приклеивают оставшиеся части снимков малодеформирующим (резиновым) клеем. Далее монтируют последующие снимки первого маршрута, затем – снимки других маршрутов.

При обследовании автодорог обычно применяют геодезические измерения, сводящиеся к разбивке пикетажа, с целью съемки ситуации и придорожных сооружений. Основные работы приходятся на долю линейных измерений, объем которых может быть сокращен применением уточненных фотосхем.

Производим монтаж уточненной фотосхемы из трансформированных снимков, приведенных к определенному масштабу. С этой целью с карты снимаем опознаки по углам рабочей площади аэроснимка, а в случае недостатка контуров разбиваем фотограмметрическую сеть, опираясь на опознаки, снятые с карты.

По полученной фотосхеме составляем план трассы дороги, опознавание мостовых переходов, трубопроводов, определяем радиусы закруглений и т.д. Местоположение не изобразившихся на фотосхеме километровых столбов, дорожных знаков и т.д., а также качественную характеристику дороги определяют в результате полевого обследования.

Точность и достоверность полученных результатов значительно выше с одновременным увеличением производительности труда.

Процесс отождествления объектов аэроснимка и местности называется дешифрированием. Оно бывает камеральное и полевое. При составлении топографических карт в большинстве случаев применяют полевое дешифрирование, в процессе которого на местности опознают объект и его качественную характеристику – назначение и этажность строения, скорость течения реки, высота и порода деревьев и т.д., а также уточняют собственные названия. Для сокращения полевого дешифрирования в районах с небольшим количеством контуров используют смешанное дешифрирование. В этом случае полевое дешифрирование производят через один или два маршрута, а отдешифрированный маршрут служит эталоном для всего участка.

Когда объект недоступен, применяют камеральное дешифрирование, при котором руководствуются демаскирующими признаками, подразделяемыми на прямые – форма, размер, тон (цвет) и косвенные – тень, местоположение объекта, его деятельность.

Глава 4. СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД СЪЕМОК

§1. Сущность стереофотограмметрической съемки

Благодаря бинокулярному зрению с последующим совмещением в коре головного мозга рассматриваемых предметов, возможно пространственное видение объектов местности. При этом образуется параллактический треугольник, в котором малой стороной является базис b (расстояние между зрачками глаз, в среднем равное 65 мм), а малым углом – угол конвергенции γ . Его минимальное значение при пространственном видении равно $30''$ (рис. 18), что соответствует пространственному видению примерно в пределах 450 м. Это подтверждается соотношением $D = (b \rho'') / \gamma''$.

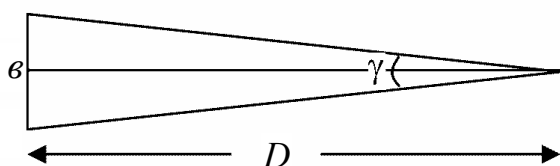


Рис. 18. Параллактический треугольник

Свойство зрения пространственно видеть перенесено на снимки. Если получить изображение с некоторого базиса и рассматривать полученную пару снимков (стереопару) совместно, то изображение местности будет объемным, что и положено в основу стереоскопических измерений и применительно к топографии сводится к определению абсолютной отметки точки.

Рассмотрим геометрическую сторону этого вопроса. Для простоты рассуждения возьмем случай, когда базис съемки и аэроснимок горизонтальны, что называется нормальным случаем съемки (рис. 19). Левая (с центром проекции в точке S) и правая (с центром проекции в точке S') связки лучей спроектированы на экран, и в результате пересечения одноименных лучей, что сводится к прямой засечке, получилась модель местности, называемая стереомоделью. Элементы внешнего ориентирования левого аэроснимка $X_s = Y_s = Z_s = 0$; $\alpha = \omega = \kappa = 0$, правого $X_{s'} = B$; $Y_{s'} = Z_{s'} = 0$; $\alpha' = \omega' = \kappa' = 0$.

Возьмем произвольную точку M местности, которая изобразилась в точках m и m' на левом и правом аэроснимках.

Найдем координату $Z = S S'$, называемую отстоянием. Из $\Delta S S' M_x$

$$Z = S M_x \cos \alpha_m,$$

где α_m и α_m' – полярные координаты точки M . По теореме синусов определим $(S M_x) / \sin(90^\circ - \alpha_m) = B / \sin(\alpha_m - \alpha_m')$.

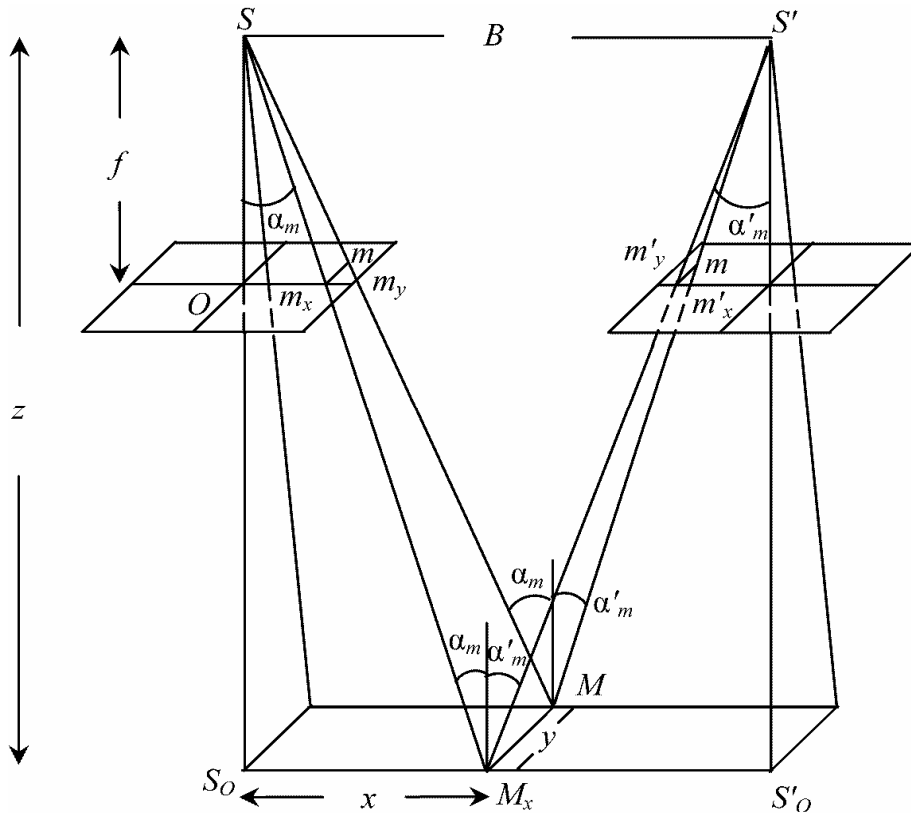


Рис. 19. Схема стереоизображения

В соответствии с этим

$$Z = B (\cos \alpha_m \cos \alpha_m') / \sin(\alpha_m - \alpha_m') = B / (\operatorname{tg} \alpha_m - \operatorname{tg} \alpha_m').$$

Но так как $om_x = x$, $o'm_x' = x'$, $\operatorname{tg} \alpha_m = x/f$, $\operatorname{tg} \alpha_m' = x'/f$,

то $Z = B / ((x/f) - (x'/f)) = (Bf) / (x - x')$.

Разность координат снимка $(x - x')$ носит название продольного параллакса и обозначается p . С учетом p координата Z определится из выражения

$$Z = (Bf) / p. \quad (14)$$

Координата X точки местности из рассмотрения подобных треугольников $S S_0 M_x$ и $S O m_x$ определится $X = Z (x/f)$, а с учетом (14)

$$X = (Bx) / p. \quad (15)$$

По аналогии определим $Y = Z (y/f)$; $Y = (By) / p$.

Равенство координат ($y_m - y_m'$), полученных по измерениям на левом и правом аэроснимках, свидетельствует о правильности решения прямой засечки. Разность величин $(y - y') = q$ носит название поперечного параллакса и используется для определения элементов взаимного ориентирования.

Геодезические координаты какой-либо точки местности, изобразившейся на стереомодели, определяются из выражений

$$X_{\Gamma} = X_o + \Delta X_{\Gamma} = X_o + (a_1 X + a_2 Y + a_3 Z) m;$$

$$Y_{\Gamma} = Y_o + \Delta Y_{\Gamma} = Y_o + (b_1 X + b_2 Y + b_3 Z) m;$$

$$Z_{\Gamma} = Z_o + \Delta Z_{\Gamma} = Z_o + (c_1 X + c_2 Y + c_3 Z) m,$$

где X_o, Y_o, Z_o – геодезические координаты начала системы фотограмметрических координат; $\Delta X_{\Gamma}, \Delta Y_{\Gamma}, \Delta Z_{\Gamma}$ – приращения геодезических координат определяемой точки относительно начала системы фотограмметрических координат; X, Y, Z – фотограмметрические координаты точек модели; m – знаменатель масштаба модели; a_i, b_i, c_i – направляющие косинусы, определяемые из выражения (3).

§ 2. Формулы превышений

На чертеже (рис. 20) базис и аэроснимки горизонтальны. Из рассмотрения подобных треугольников

$$\Delta P = h / (H - h) B. \quad (17)$$

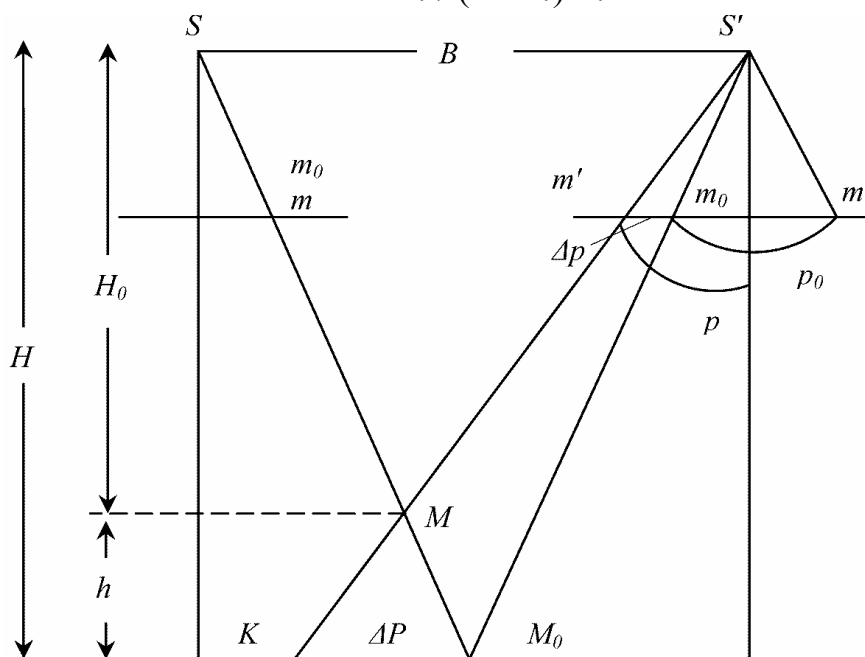


Рис. 20. Формулы превышений

Так как ΔP местности связано с Δp аэроснимка, носящим название разности продольных параллаксов, соотношением

$$\Delta P = (\Delta p H) / f,$$

то с учетом формулы (17) $\Delta p = h : (H - h) \cdot B \cdot f / H$. Сомножитель $B \cdot f / H$ выражает значение базиса в масштабе аэроснимка и обозначается v , с учетом которого

$$\Delta p = h / (H - h) v. \quad (18)$$

Откуда после преобразования получим

$$h = \Delta p (v + \Delta p) H. \quad (19)$$

Приближенные формулы примут вид

$$\Delta p = (h / H) v; \quad h = (\Delta p / v) H. \quad (20)$$

Из выражения (14) заметим $p = B (f / Z)$, то есть $p = v$, так как $B (f / Z) = B (1 / m) = v$. Откуда следует, что продольный параллакс является базисом в масштабе съемки.

§ 3. Элементы взаимного ориентирования стереопары

При совместной обработке стереопары достаточно знать элементы взаимного ориентирования, определяющие взаимное положение пары снимков в момент фотографирования. Различают две системы элементов взаимного ориентирования: в первой системе неподвижным является базис фотографирования; во второй – левый аэроснимок. Рассмотрим первую из систем, в которой элементами взаимного ориентирования являются: α_1 – угол в главной базисной плоскости левого снимка между перпендикуляром к базису фотографирования и главным лучом левой связки; κ_1 – угол разворота левого аэроснимка; α_2 – угол в главной базисной плоскости левого снимка между перпендикуляром к базису и проекцией луча правой связки; ω_2 – угол между проекцией главного луча правой связки на базисную плоскость левого снимка и главным лучом; κ_2 – угол разворота правого аэроснимка (рис. 21).

Пара соответственных лучей точки М пересекается, если она лежит в одной плоскости, что можно выразить как условие коллинеарности трех векторов

$$\overline{R_0} \times \overline{R'_1} \times \overline{R'_2} = 0,$$

где $\overline{R_0}, \overline{R'_1}, \overline{R'_2}$ – векторы, определяющие положение центра проекции правого снимка S' и пары соответственных точек m_1 и m_2 относительно центра проекции левого снимка S .

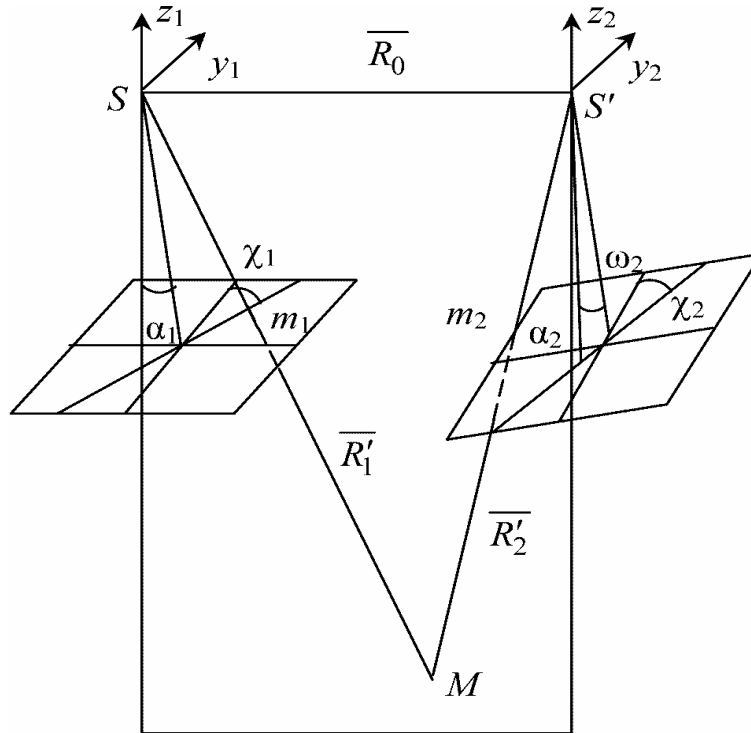


Рис. 21. Прямая засечка

Уравнение, связывающее элементы взаимного ориентирования с координатами соответственных точек стереопары, определится условием пересечения соответственных лучей

$$\begin{vmatrix} B & O & O \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} = 0,$$

где координаты X, Y, Z точек m_1 и m_2 соответственно в системе координат правого и левого аэроснимков.

Эти координаты зависят от элементов взаимного ориентирования и в функциональном виде могут быть записаны

$$\varphi(\alpha_1, \kappa_1, \alpha_2, \omega_2, \kappa_2) = 0.$$

Введя обозначения и произведя преобразования, получим окончательное выражение

$$(x_1 y_1 / f) \alpha_1 - (x_2 y_2 / f) \alpha_2 - (f + (y_1 y_2 / f)) \omega_2 + x_1 \kappa_1 - x_2 \kappa_2 + q = 0, \quad (21)$$

где $q = y_1 - y_2$ – поперечный параллакс.

Это уравнение позволяет определить элементы взаимного ориентирования для случая плановой аэросъемки. Выберем на стереопаре шесть стандартно расположенных точек (рис. 22). Подставляя в уравнение (21) значения a и b (табл.1) для каждой из точек стереопары, получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} 1) & -f\omega_2 + b\kappa_2 + q_1 = 0; \\ 2) & -f\omega_2 + b\kappa_1 + q_2 = 0; \\ 3) & (ab/f) \alpha_2 - (f + a^2/f) \omega_2 + b\kappa_2 + q_3 = 0; \\ 4) & (ab/f) \alpha_1 - (f + a^2/f) \omega_2 + b\kappa_1 + q_4 = 0; \\ 5) & -(ab/f) \alpha_2 - (f + a^2/f) \omega_2 + b\kappa_2 + q_5 = 0; \\ 6) & -(ab/f) \alpha_1 - (f + a^2/f) \omega_2 + b\kappa_1 + q_6 = 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Таблица 1

Номер точки	X_1	X_2	Y_1	q
1	0	+ b	0	q_1
2	- b	0	0	q_2
3	0	+ b	+ a	q_3
4	- b	0	+ a	q_4
5	0	+ b	- a	q_5
6	- b	0	- a	q_6

Решая эту систему уравнений, окончательно найдем каждую переменную:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= f/2ab (q_6 - q_4); \\ \alpha_2 &= f/2ab (q_5 - q_3); \\ \omega_2 &= f/2 a^2 (q_3 + q_5 - 2q_1) = f/2 a^2 (q_4 + q_6 - 2q_2); \\ \kappa_1 &= (f/b) \omega_2 - q_2 / b; \\ \kappa_2 &= (f/b) \omega_2 - q_1 / b. \end{aligned} \quad (23)$$

Измерение входящих в первую часть уравнений величин производят на стереокомпараторе.

В кассеты прибора закладывают аэронегативы эмульсией вниз таким образом, чтобы центры аэронегативов совпадали с центром кассеты. Ориентируют аэронегативы по начальным направлениям, т.е. добиваются параллельности базисов правого и левого аэронегативов с осью X прибора,

что достигается движениями X , Y , k , q , p . Величину базиса определяют как разность отсчетов по шкале X прибора при наведении марки прибора на центр правого и левого аэронегативов.

$$v = x_{\text{п}} - x_{\text{л}}.$$

Далее выполняют измерения поперечных параллаксов на стандартно расположенных точках стереопары (рис. 22) в два круга при значениях Y , равных ± 60 и ± 70 мм. По измеренным значениям вычисляют элементы взаимного ориентирования, что наиболее рационально выполнить на ЭВМ. В этом случае роль оператора сводится к наведению на точку и, минуя промежуточные операции (считывание со шкал, запись и т.д.), можно получить готовые значения.

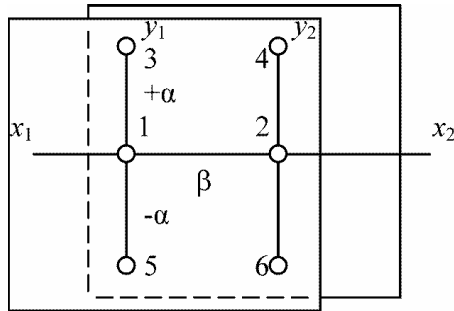


Рис 22. Расположение опознаков на стереопаре

§ 4. Определение элементов внешнего ориентирования

Определение элементов внешнего ориентирования производят измерением их в полете или вычислением в камеральных условиях по измерениям снимков.

Определение координат X и Y производят с помощью радиогеодезических систем, а высоты фотографирования – с помощью радиовысотометра. Кроме того, изменение высоты фотографирования может быть найдено фотографированием Солнца, гиравертикали или горизонта. Однако с удовлетворительной точностью определяют только высоту фотографирования, и в настоящее время ведутся работы по повышению точности определения координат X и Y , а углы наклона – путем применения гиравстабилизирующих установок стараются исключить.

Элементы внешнего ориентирования могут быть определены в камеральных условиях по опорным точкам, что сводится к решению обратной пространственной фотограмметрической засечки, заключающейся в определении поправок решением системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} a\delta x_0 + v\delta y_0 + c\delta z_0 + d\delta\alpha + e\delta\omega + f\delta k + g\delta f + h\delta x_0 + i\delta y_0 + (x) - x = v, \\ a'\delta x_0 + v'\delta y_0 + c'\delta z_0 + d'\delta\alpha + e'\delta\omega + f'\delta k + g'\delta f + h'\delta x_0 + i'\delta y_0 + (y) - y = v, \end{aligned} \right\} (24)$$

(x) , (y) – вычисленные координаты; x , y – измеренные координаты.

Одна опорная точка дает два уравнения, следовательно, для решения задачи необходимо минимум пять точек.

Уравнения (24) решают методом последовательных приближений. С этой целью измеряют координаты опорных точек на снимке. По приближенным значениям элементов ориентирования вычисляют координаты (x) и (y) тех же опорных точек и коэффициенты уравнений поправок, получают новые поправки и находят первое приближение неизвестных. Вновь вычисляют величины (x) и (y) и коэффициенты уравнений поправок, получают поправки к первому приближению и второе приближение неизвестных. Вычисления производят до тех пор, пока последующее приближение не будет отличаться от предыдущего в пределах требуемой точности. Решение задачи производится на ЭВМ.

§ 5. Аэрорадионивелирование

Аэрорадионивелирование представляет собой метод определения абсолютных отметок точек надира аэроснимка на основании показаний радиовысотомера и статоскопа. Высоты фотографирования, измеренные радиовысотомером, и разности высот полета, измеренные статоскопом, позволяют определить абсолютную отметку любой из точек надира, если известна абсолютная отметка начальной точки, что следует из геометрии чертежа (рис. 23)?

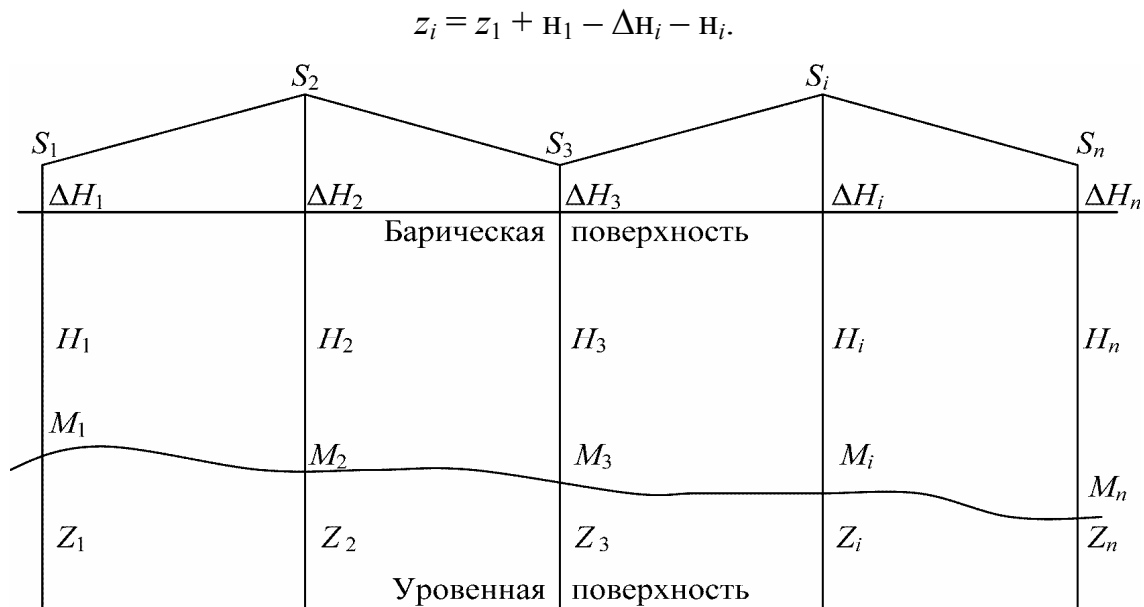


Рис. 23. Аэрорадионивелирование

Это выражение справедливо, если барическая поверхность горизонтальна, в действительности же она занимает наклонное положение и может

быть определена как невязка в ходе для какой-то точки, известной в конце маршрута

$$\sum \delta h = Z_{n \text{ выч}} - Z_n,$$

и тогда невязка делится пропорционально удалению точки от начала хода.

Достоинством этого способа является независимое определение абсолютных отметок точек, так как на каждой из них получаются независимые результаты. Точность определения высот точек таким методом порядка 2 м.

§ 6. Дифференцированный метод составления планов

Метод создания топографического плана, при котором плановая и высотная части плана создаются отдельно, называется дифференцированным и включает следующие этапы работ: аэросъемочный процесс, планово-высотная привязка снимков и дешифрование контуров, составление фотопланов и рисовка рельефа, создание оригинала карты.

Камеральной частью работ является составление фотопланов и рисовка рельефа. Составление фотопланов рассмотрено ранее, а рисовка рельефа требует специального рассмотрения.

Рисовка рельефа выполняется с помощью стереометра, изобретенного Ф.В. Дробышевым в 1932 г. На нем возможна рисовка на аэроснимках, углы которых не превышают 3° . При этом задача распадается на две части:

- 1) ориентирование стереопары на приборе;
- 2) рисовка рельефа на ориентированных снимках.

Ориентирование аэроснимков, т. е. установка величин однозначно фиксирующих положение точек стереопары является одной из основных задач стереофотограмметрии. Применительно к стереометру задача сводится к установке коррекционных механизмов таким образом, чтобы наблюдалось равенство превышений между точками аэроснимка и этими же точками местности

$$h - h' = 0, \quad (25),$$

где h, h' – фотограмметрическая и геодезическая высоты точек.

У произвольно заложенных в кассеты прибора снимков равенство (25) соблюдаться не будет, запишем его в виде уравнения с учетом поправки в превышение dh

$$h - h' + dh = 0.$$

Задача сводится к определению поправки dh , которая может быть найдена дифференцированием выражения (20)

$$h = (\Delta p H) / v.$$

В результате дифференцирования по всем переменным и последующего деления правой и левой частей на исходное выражение получим

$$dh = (h/H)dH - (h/b)db + (h/\Delta p)d(\Delta p).$$

Поправка в продольный параллакс определена М.Д. Коншиным, и с учетом ее имеем

$$dh = (h/H)dH - (h/b)db + (h/\Delta p)\{(x\Delta H)/(fm) + (x^2/f)\Delta\alpha + (xy/f)\Delta\omega - y\Delta\kappa + 2(xv/f)\alpha' + (yv/f)\omega'\}. \quad (26)$$

Это уравнение содержит четыре элемента внешнего ориентирования:

dh – поправка в высоту фотографирования;

db – поправка к базису фотографирования;

α' – продольный угол наклона;

ω' – поперечный угол наклона;

и четыре элемента взаимного ориентирования:

$\Delta H/m$ – превышение базиса;

$\Delta\alpha$ – взаимный продольный угол наклона;

$\Delta\omega$ – взаимный поперечный угол наклона;

$\Delta\kappa$ – взаимный угол разворота.

Для решения задачи ориентирования аэроснимков необходимо иметь восемь превышений или девять точек с известными высотами.

При незначительном рельефе и небольших углах наклона, а также известных значениях $\Delta\alpha$ и $\Delta\omega$ уравнение (26) упроститься, т.е.

$$dh = (h/H)dH - (h/b)db + (h/\Delta p)\{(x/f)H_0 - y\Delta\kappa\}. \quad (27)$$

Для решения этого уравнения необходимы пять точек с известными высотами, а с учетом избыточных данных – минимум шесть точек. При наличии исчезающе малого рельефа величины dH , $\Delta\kappa$ практического значения не имеют, и для решения задачи ориентирования необходимы четыре точки, расположенные стандартно (рис. 24). Ориентирование выполняется путем последователь-

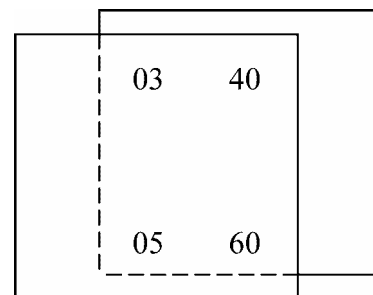


Рис. 24. Расположение опознаков на стереопаре

ного согласования фактических и предвычисленных значений разностей продольных параллаксов Δp . Согласование достигается с помощью коррекционных устройств прибора и выполняется методом приближений.

Закончив ориентирование, приступают к рисовке рельефа. Предвычисляют значения разности продольных параллаксов между каждой горизонталью и исходной точкой в соответствии с выражением $\Delta p = (hb)/H$ и находят значение параллакса, соответствующее каждой горизонтали.

Установив отсчет на параллактическом винте, приступают к трассированию горизонтали, фиксируя места касания пространственной нити рельефа. При рисовке следует руководствоваться геоморфологическими закономерностями. Начинать рисовку следует с наиболее характерных мест. В процессе рисовки производить контрольное визирование. На встретившихся участках леса определять высоту его и, введя поправку в параллактический отсчет, производить рисовку рельефа с контролем правильности рисовки на встречающихся полянах.

Закончив рисовку, определяют визированием отметки характерных точек местности, урезов вод, пониженных мест и возвышенностей и т.д. Контролем правильности рисовки является сводка с соседней стереопарой: если расхождения не превышают 1/3 сечения, рисовка выполняется верно.

Перерисовка рельефа с аэроснимка на фотоплан проводится следующими способами: перерисовкой горизонталей по квадратам; с использованием стереоскопа и дополнительных линз; с помощью специального стереоскопа Баштана; с помощью оптического проектора.

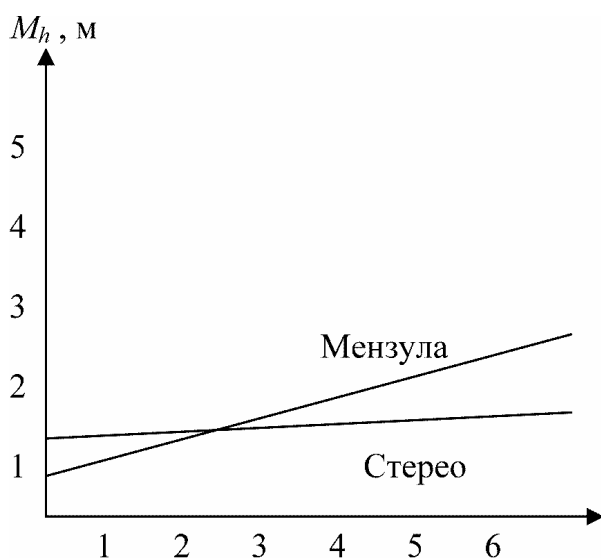


Рис. 25. Точность стереосъемки

Точность рисовки рельефа на стереометрах определяется из выражения

$$\mu_h = \pm (1,3 + 4,4 \operatorname{tg} v) \text{ м.}$$

Для сравнения приведем формулу точности рисовки рельефа методом мензульной съемки $\mu_h = \pm (0,8 + 15,0 \operatorname{tg} v) \text{ м}$, где v – углы наклона местности.

Из графика следует, что при углах наклона местности до 2° , точнее мензульная съемка, а при больших углах наклона – стереофотограмметрическая съемка (рис. 25).

§ 7. Универсальный метод составления планов и карт

Дифференцированный метод сыграл свою роль при составлении карт масштаба 1 : 25000 и мельче. При составлении планов более крупного масштаба он не обеспечивает точности рисовки рельефа, в связи с чем были разработаны универсальные методы, при использовании которых схемы создания карт включают следующие процессы: аэросъемку; планово-высотную привязку аэроснимков; рисовку рельефа и контуров с одновременным составлением планов; издание планов и карт.

Сущность универсального метода стереосъемки состоит в непрерывности процесса создания контурной и высотной части топографического плана, выполняемого при помощи одного пробора. Строгость решения задачи, независимо от значений абсолютных углов наклона аэроснимков и рельефа местности, и исключение ошибок в построении рельефа и контуров, возникающих при переходе от центральной проекции аэроснимка к ортогональной проекции плана, представляют собой достоинства, отличающие универсальный метод от дифференцированного. К недостаткам метода относится значительная затрата времени и труда на отображение контурной части плана, в особенности на местности, богатой контурами, в связи с чем рисовка рельефа универсальными приборами в обильной контурами местности производится на фотопланах.

Приборы универсального типа раньше создавались по принципу обратимости хода проектирующих лучей, т.е. на воссоздании в процессе обработки аэроснимков связки лучей, подобной связке, существующей в момент аэросъемки. К приборам такого типа относятся: стереопланиграф, двойной проектор, мультиплекс. Однако в 40-х годах была разработана теория фотограмметрической засечки с нарушением подобия связок. В 50-х годах были созданы приборы с преобразованными связками, а в настоящее время получили распространение стереопроектор Романовского и стереограф Дробышева.

Стереограф Дробышева, выпускаемый последовательно под марками СД-1, СД-2, СД-3, представляет собой настольный универсальный прибор, основанный на принципе механической засечки. Он служит для обработки стереопар воздушной съемки. В соответствии с теорией прямой фотограмметрической засечки при нарушенных связках проектирующих лучей в приборе применен принцип коррекционных плоскостей, при помощи которых непрерывно изменяется фокусное расстояние проектирующих ка-

мер. В результате этого координаты точек трансформируются, т.е. приводятся к случаю съемки с отвесными лучами.

Координатная система стереографа осуществляется тремя направлениями, со шкал которых считываются значения координат. При обработке аэроснимков по принципу коррекционных плоскостей придают наклон на преобразованные углы $\kappa\alpha$, $\kappa\omega$, где κ – коэффициент преобразования, равный $F:f_k$.

На данном приборе (как и на других этого типа) можно выполнять разнообразные фотограмметрические и стереофотограмметрические работы (планово-высотное сгущение, съемку контуров и рельефа, контроль фотопланов, снятых в поле, и ряд вспомогательных работ). Для работы в плане на приборе используют негативы или контурные диапозитивы на стекле. С его помощью обрабатываются аэроснимки формата 18×18 , полученные АФА с $f_k= 55, 70, 100$ и 200 . Разность высот точек в пределах стереопары не должна превышать $0,3$ Н. Соотношение масштабов обработки снимков и плана $0,5 - 2,0$, в противном случае необходим выбор промежуточного масштаба. План вычерчивается на пантографе, которым снабжается стереограф.

Комплекс работ по созданию оригинала карты включает следующие процессы:

- 1) подготовительные работы;
- 2) взаимное ориентирование аэроснимков;
- 3) геодезическое ориентирование аэроснимков;
- 4) рисовка рельефа и контуров.

Подготовительные работы. После подбора материалов, каталогов координат, основы с нанесенными опознаками определяется коэффициент преобразования модели по формуле

$$K = F : f_k,$$

где F – фокусное расстояние прибора; f_k – фокусное расстояние АФА с учетом систематической деформации материала.

После чего составляют проект выполнения работ.

Взаимное ориентирование аэроснимков выполняется путем устранения поперечных параллаксов на пяти стандартно расположенных точках с контролем на 6-й точке. Взаимное ориентирование выполняется угловыми и линейными движениями только правой камеры $\kappa_{п}$, $\alpha_{п}$, $\omega_{п}$, ν_y , ν_z .

Движением v_y устраняется поперечный параллакс на точке 2. После этого наблюдают точку 1, где устраняют q движением винта k_p . Возвращаются на точку 2 и уточняют устраненный q тем же движением и снова переходят на точку 1. Устранив поперечный параллакс в направлении 1-2, переходят к наблюдению точек 4 – 6. На точке 4 q устранен движением v_z , а на 6-й точке – $1/2 v_z + 1/2 \omega_p$. Добившись устранения параллакса в направлении 4-6, переходим на точку 3, где устраняют поперечный параллакс движением α_p . На этом первый круг взаимного ориентирования заканчивается (без захода на точку 5), после чего на приборе вводятся линейные децентрации по формулам

$$\Delta x = (f_k l_\alpha)/90k; \Delta y = (f l\omega)/80k,$$

где $l_\alpha, l\omega$ – отсчеты по шкалам α_p, ω_p . После введения децентрации уточняется фокусировка наблюдательной системы, затем переходят ко второму кругу ориентирования по той же схеме. Взаимное ориентирование считается законченным, если на 5-й точке не наблюдается q .

Геодезическое ориентирование. В результате взаимного ориентирования получилась геометрическая модель местности, имеющая произвольное расположение в пространстве. Поэтому полученную модель необходимо привести к заданному масштабу и повернуть так, чтобы оси пространственных координат модели соответствовали осям геодезических координат. Этот процесс состоит из двух частей – масштабирования и горизонтирования.

Масштабирование выполняется по плановым опознакам, нанесенным на планшете в заданном масштабе. Для масштабирования на стереопаре достаточно иметь два опознака, находящихся на возможно большем отстоянии друг от друга.

Работа выполняется в определенной последовательности. Вычисляют ожидаемый вертикальный масштаб по формуле

$$1/M_B = 1,15F/1000H.$$

Окончательное значение вертикального масштаба берется близким к какому-либо круглому числу (если предварительно 1 : 2147, берется 1 :

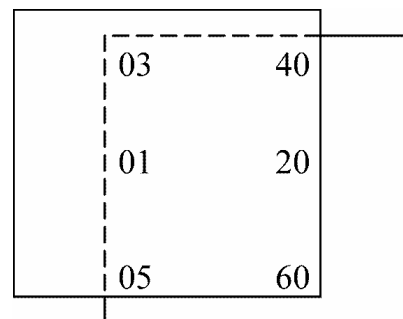


Рис. 26. Расположение точек при взаимном ориентировании

2000). Затем по принятому вертикальному масштабу вычисляют горизонтальный масштаб модели по формуле

$$M_r = M_v \cdot k.$$

Зная горизонтальный масштаб модели, вычисляют коэффициент пантографирования:

$$K_{\Pi} = M_r / M.$$

Коэффициент пантографирования устанавливают на пантографе и приступают к масштабированию. Штурвалами x, y, z стереоскопически наводят марку на одну из плановых опорных точек, и движением планшета в своей плоскости острие карандаша совмещается с соответствующей точкой планшета, после чего теми же штурвалами стереоскопически измерительную марку наводят на вторую опорную точку и поворотом планшета вокруг первой точки ставят острие карандаша на линию 1 – 2. При несовпадении карандаша пантографа с точкой 2 величина базиса прибора изменяется по формулам

$$\Delta v_x = v_x' (\Delta l / l), \Delta v_y = v_y' (\Delta l / l), \Delta v_z = v_z' (\Delta l / l)$$

или методом приближений.

Масштабирование закончено, если при стереоскопическом наведении на все точки аэроснимка острие карандаша будет совпадать со всеми точками планшета.

Горизонтирование модели – согласование высот точек модели и местности. Для горизонтирования стереопары необходимо иметь минимум три высотных опознака, не лежащих на одной прямой. Этот процесс выполняется методом последовательного приближения и заключается в достижении равенства геодезических и фотограмметрических высот. Работа выполняется по четырем или шести точкам.

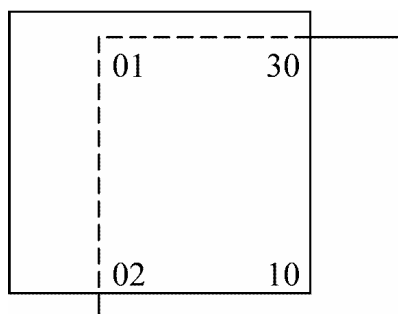


Рис. 27. Расположение точек при горизонтировании модели

Рассмотрим горизонтирование модели по четырем опорным точкам (рис. 27). Измерительная марка стереоскопически наводит на высотную точку 1, и на счетчике высот устанавливается соответствующая ей высота. Затем наводим на точку 2. Несогласованность высот свидетельствует о наклоне модели вдоль оси $У$. Вращением ножного диска устанавливаем на счетчике высот отсчет,

равный среднему значению между фотограмметрической и геодезической отметками, и рукой на счетчике высот ставим геодезическую отметку. Совместно наклоняя левую и правую коррекционные плоскости на угол $\omega_\lambda = \omega_\mu$, «сажаем» марку на точку 2. Снова наблюдаем точку 1 и, если нет равенства, операцию повторяем.

При достижении равенства геодезических и фотограмметрических высот на точках 1 – 2 марка перегоняется на точку 3. Вращением штурвала на счетчике высот устанавливается отметка, равная геодезической высоте точки 3, и несовпадение с ней марки свидетельствует о наклоне модели вдоль оси X, что устраняется наклоном коррекционных плоскостей на углы $\alpha_1 : \alpha_n$. Затем осуществляется проверка в направлении 1 – 2. Точка 4 – контроль.

В результате горизонтирования модели углы наклона коррекционных плоскостей изменяются, что вызывает необходимость повторного введения децентраций, после чего модель вновь ориентируется, масштабируется и горизонтируется.

Геодезическое ориентирование считается законченным, когда при наведении измерительной марки на опорные точки острие карандаша пантографа будет совпадать с соответственными точками планшета, а разности фотограмметрической и геодезической высот не будут выходить за пределы допуска.

Из сказанного следует, что ориентирование следует выполнять в такой последовательности.

1. Приближенное ориентирование.
2. Приближенное масштабирование.
3. Приближенное горизонтирование.
4. Введение линейных децентраций.
5. Окончательное взаимное ориентирование.
6. Окончательное масштабирование и горизонтирование модели.

Рисовка рельефа контуров. После выполнения геодезического ориентирования приступают к рисовке рельефа и контуров. Проверив правильность ориентировки планшета, приступают к рисовке рельефа. Прежде всего перерисовывают элементы гидрографии, направления лощин, хребтов, проточин. Затем на характерных местах рельефа берутся пикетные точки и подписываются на планшете с точностью до 0,1 м. После вычерчивания «скелета местности» и набора пикетных точек приступают к ри-

совке горизонталей. Начинают рисовку с наиболее низких мест. Движением Z устанавливают высоту горизонтали и движениями X и Y перемещают стереоскопически марку так, чтобы она всегда касалась поверхности модели. Чертежное устройство должно быть включено. Последующие горизонталю проводят как первую. При нанесении контуров перемещают измерительную марку движениями X и Y по контуру, при этом всегда удерживают ее на поверхности контура штурвалом. Чтобы выделить контуры от рельефа, целесообразно в чертежное устройство вставить графит другого цвета.

Глава 5. ФОТОТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

§ 1. Технологическая схема и виды фототеодолитной съемки

Вид съемки, основанный на фотографировании местности с земли с целью определения формы, размеров и местоположения объекта на плоскости или в пространстве, называется наземной стереофотограмметрической или фототеодолитной съемкой.

При решении проектно-изыскательских, строительных и эксплуатационных задач в дорожном строительстве фототеодолитная съемка может быть применена для определения разности и деформации автодороги, фиксации дорожно-транспортных происшествий, организации дорожного движения. Общая схема решения задачи включает полевые и камеральные работы (рис. 28).

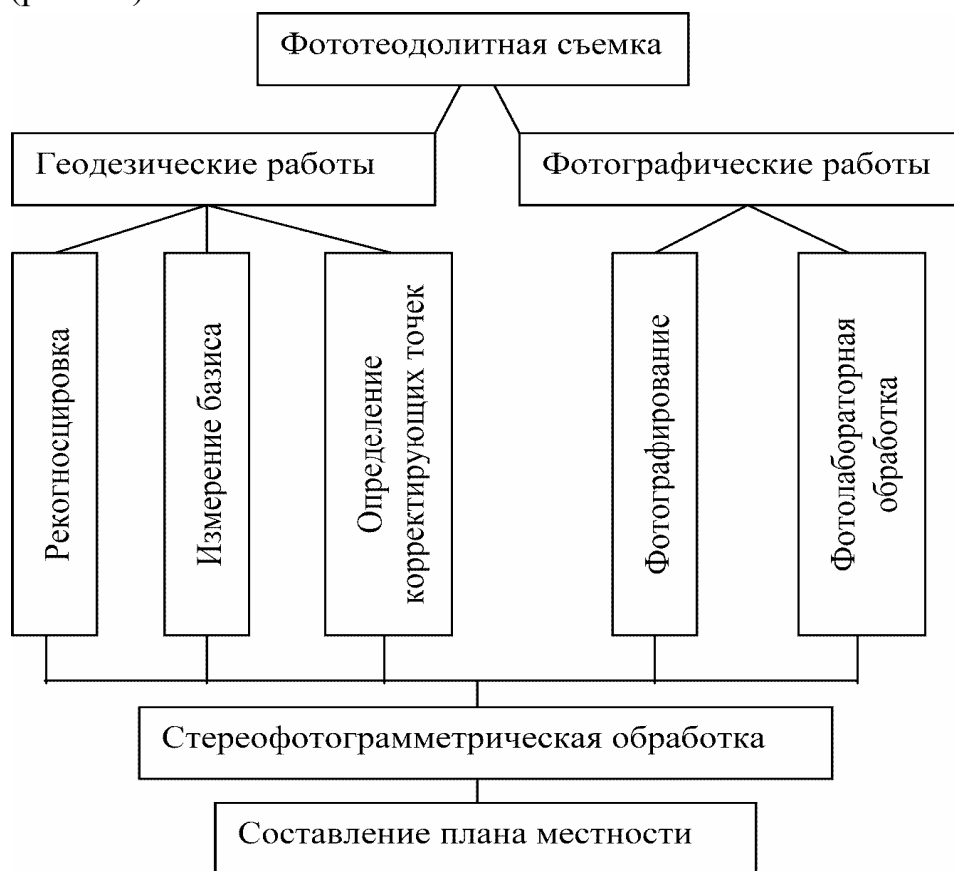


Рис. 28. Технологическая схема фототеодолитной съемки

Съемка местности выполняется с помощью специальной фотокамеры – фототеодолита, представляющего собой фотоаппарат, снабженный ориентирующим устройством. На местности разбивается базис, величина которого измеряется с высокой точностью, ориентируется оптическая ось камеры относительно линии базиса и производится фотографирование.

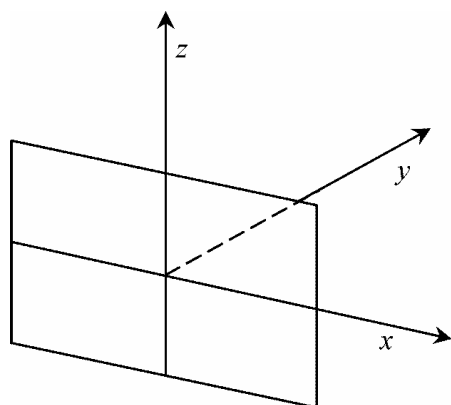


Рис. 29. Система координат

Система координат снимка совпадает с геодезической и соответствует рис. 29, на котором ось X совпадает с направлением базиса, а ось Y перпендикулярна плоскости снимка. Координата Y называется отстоянием.

Эта система координат также совпадает с системой координат аэроснимка, при этом происходит замена осей Y и Z . Фототеодолитная съемка является частным и более простым случаем по сравнению с аэросъемкой, так как угловым элементам внешнего ориентирования могут быть приданы любые значения, в том числе равные 0. Это значительно упрощает последующую обработку снимков фототеодолитной съемки.

В зависимости от расположения оптической оси камеры относительно базиса существует девять случаев съемки. Наибольшее распространение из них получили три: нормальный случай съемки (рис. 30, а), случай съемки с равномерно отклоненными осями (рис. 30, б), конвергентный случай съемки (рис. 30, в), где γ – угол конвергенции.

По возможности применяется нормальный случай съемки как более простой в обработке.

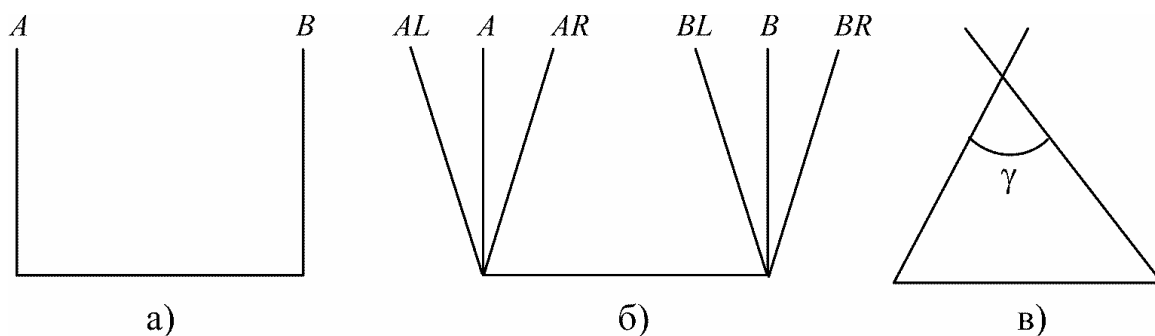


Рис. 30. Случаи фототеодолитной съемки

§ 2. Нормальный случай съемки

Пусть $S_{\text{л}}$ и $S_{\text{п}}$ – положения узловой точки объектива фотокамеры, B – базис фотографирования, величина которого составляет $(1/4 - 1/20)U$, при оптимальном значении – $1/8U$. Оптические оси камер $S_{\text{л}}A$ и $S_{\text{п}}B$ расположены в горизонтальной плоскости и составляют с направлением линии базиса прямой угол. Точка M местности изобразилась на левом и правом снимках соответственно в точках $m_{\text{л}}$ и $m_{\text{п}}$. Принимая за начало координат левый центр проектирования и проведя линию $S_{\text{л}}M_1HS_{\text{л}}M$ (рис. 31), можно установить математическую зависимость между координатами точек местности и снимка. Принимая значение продольного параллакса $p = x_{\text{А}} - x_{\text{П}}$, из подобия $\Delta S_{\text{л}}MS_{\text{п}}$ и $\Delta m_{\text{п}}S_{\text{п}}m_{\text{л}}$ найдем $Y = (B/p) f$.

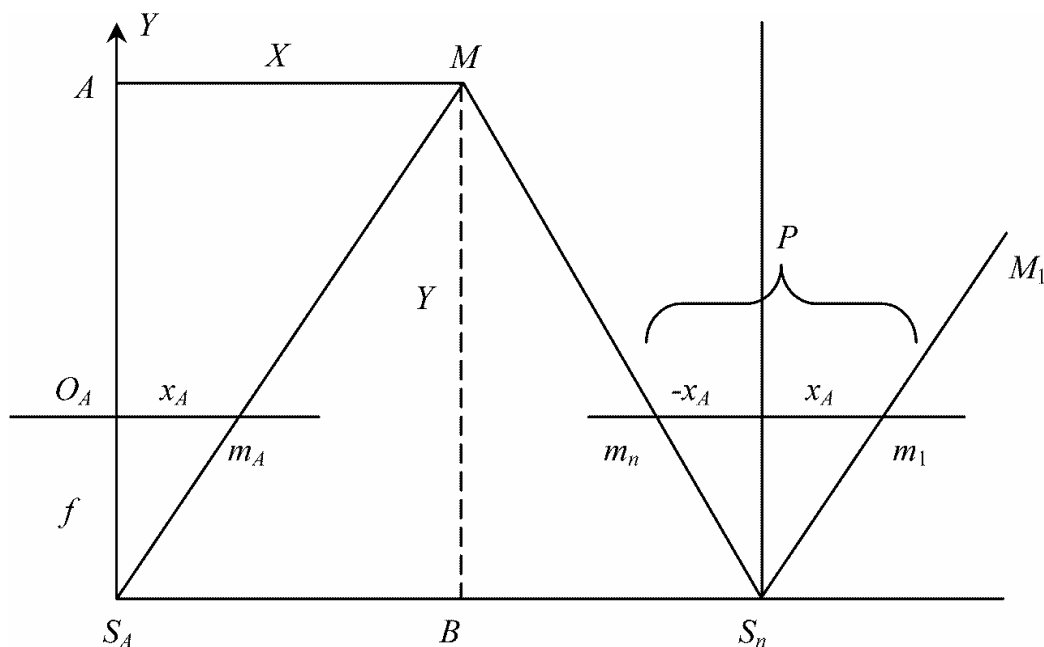


Рис. 31. Нормальный случай съемки

Из подобия $\Delta S_{\text{л}}O m_{\text{л}}$ и $\Delta S_{\text{л}}AM$ следует: $X = Y (x_{\text{л}} / f) = (B/p)x_{\text{л}}$.

По аналогии $Z = Y (z/f) = (B/p)z$.

Формулы общего случая съемки для определения пространственных фотограмметрических координат точек объекта по измерениям на стереопаре представлены с учетом трансформированных значений величин

$$Y = B_t (f/p_t); X = B_t (x_t/p_t); Z = B_t (z_t/p_t), \quad (28)$$

где B_t, p_t, x_t, z_t – трансформированные значения, определяемые из выражений:

$$X_t = f((a_1x + a_2f + a_3z) / (b_1x + b_2f + b_3z)); Y_t = f((c_1x + c_2f + c_3z) / (b_1x + b_2f + b_3z));$$

$$P_t = X_{лт} - X_{nt}; Bt = B(\cos\varphi - (xn_t/f) \sin\varphi);$$

где φ – угол, составленный линией базиса с осью X ; a_i, b_i, c_i – направляющие конусы, определяемые из выражений:

$$a1 = \cos \alpha \cos k - \sin \alpha \sin \omega \sin k; \quad b3 = \sin \alpha \sin k - \cos \alpha \sin \omega \cos k;$$

$$a2 = \sin \alpha \cos \omega; \quad c1 = \cos \alpha \sin k;$$

$$a3 = -\cos \alpha \sin k - \sin \alpha \sin \omega \cos k; \quad c2 = \sin \omega;$$

$$b1 = \sin \alpha \cos k - \cos \alpha \sin \omega \sin k; \quad c3 = \cos \omega \cos k.$$

$$b2 = \cos \alpha \cos \omega;$$

Геодезические координаты определяются из выражений:

$$Y_{\Gamma} = Y_{\Gamma_{Sl}} + Y \sin A + X \cos A;$$

$$X_{\Gamma} = X_{\Gamma_{Sl}} + Y \cos A + X \sin A;$$

$$Z_{\Gamma} = Z_{\Gamma_{Sl}} + Z + (k+r),$$

где $Y_{\Gamma_{Sl}}, X_{\Gamma_{Sl}}, Z_{\Gamma_{Sl}}$ – геодезические координаты левого центра проектирования; A – дирекционный угол оси Y ; $(k+r)$ – поправка за кривизну Земли и рефракцию.

Для фототеодолитной съемки применяются камеры «Фотео 19/1318», УМК, СМК. Последняя имеет постоянный базис 40 или 120 см. Фотограмметрическая обработка снимков может быть проведена на стереокомпараторе, стекóметре, стереоавтографе, стереомерографе.

Глава 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗЫСКАНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

§ 1. Аэроизыскания автодорог – общие положения

Аэроизыскания – комплекс воздушных, полевых и камеральных работ, выполняемых по результатам аэросъемки с целью определения рационального расположения сооружений на местности, а также составления проектно-сметной документации. Аэрогеодезические работы предусматривают преобразование и измерение изображений земной поверхности с целью составления топографических планов и карт, профилей, стереоскопических, геометрических и математических моделей местности.

Методом воздушных обследований определяются направление возможных вариантов трассы, а также положение основных вариантов трассы и данные для их оценки.

В методе комбинированных аэроизысканий сочетают фотограмметрические и полевые работы по аэроснимкам. Стереоскопический обзор местности сочетается с полевой укладкой трассы, геодезическими работами по разбивке пикетажа, нивелированию трассы и съемке рельефа; дешифрирование аэроснимков – с полевым геологическим обследованием и размещением на местности дорожного полотна.

При стереофотограмметрическом методе дорожные проектно-изыскательские работы проводят в камеральных условиях по стереомодели и фотосхемам на фотограмметрических приборах и приспособлениях к ним, электромеханических и электронных устройствах, обеспечивающих решение технико-экономических инженерных задач.

Аналитико-фотограмметрический метод предполагает использование фотограмметрической обработки аэроснимков в сочетании с аналитическими расчетами на цифровых вычислительных машинах и оформлением работ на графопостроителях.

Возникнув еще в позапрошлом веке, аэроизыскательские работы интенсивно развивались с 30-х годов прошлого века на базе применяющихся в топографическом производстве приборов. Получили распространение

разработанные при проектировании железных дорог методы попыток и камерально-полевого трассирования. По данным полевого дешифрирования отдельных участков трассы отождествлялись объекты аэроснимка и местности всей трассы.

В 1946 – 50 гг. в МАДИ был разработан метод пространственного фотограмметрического трассирования автодорог по стереомодели местности, обеспечивающий инструментальную укладку трассы на модели в виде рационально подобранной пространственной кривой с измерением длин линий и углов, разбивкой пикетажа и фотограмметрическим нивелированием трассы и поперечников. Эти методы получили распространение в Гипроавтотрансе для трассирования автодорог в труднодоступной местности.

Значительное развитие в Союздорпроекте и ГипродорНИИ получило крупномасштабное картографирование для дорожного проектирования с применением ЭВМ. Весь комплекс расчетов по проектированию не превышает 1 мин на 1 км трассы. Развитие аэрометодов в проектировании автомобильных дорог сопровождается техническим оснащением современными фотограмметрическими приборами, высокоточными стереокомпараторами с автоматизированной записью результатов наблюдений и более совершенной технологией производства аэроизыскательских работ.

Практика прошлых лет установила значительную технико-экономическую эффективность проектирования автодорог и мостовых переходов при использовании рациональных методов аэроизысканий в сочетании с электронной вычислительной техникой.

Применение аэроизысканий позволяет снизить стоимостных показателей для дорог различной протяженности. Снижается до 40 % стоимость изыскательских работ на мостовых переходах.

Общий рост аэроизысканий автодорог постоянно возрастает. При этом по данным отечественного и зарубежного опыта за счет более качественного проектирования и более глубокой вариантной проработки проекта снижается стоимость строительных работ на 7 – 12 %.

§ 2. Технология современных аэроизысканий автодорог и мостовых переходов

Аэроизыскания автодорог разделяются на проблемные, подробные и предпроектные, при этом различают проблемные сетевые и проблемные титульные аэроизыскания.

При проблемных сетевых изысканиях используются имеющиеся топокарты и аэроснимки прошлых лет, составляется генеральная схема развития дорожной сети в районе изысканий, уточняются титулы и категории подлежащих проектированию автодорог и очередность их строительства.

При проблемных титульных аэроизысканиях по тем же картографическим и существующим аэросъемочным материалам производятся оценка сложившихся условий местности и выбор целесообразных вариантов проектируемой дороги определенного титула.

По выбранным вариантам устанавливаются основные технические нормативы проектирования:

- типы конструкций основных элементов сооружения;
- примерные объемы и стоимость строительных работ;
- основные размеры и элементы сооружения.

Выявляются экономическое обоснование и целесообразность строительства автодороги, ее подъездов, примыканий и пересечений, сроки окупаемости строительства. По результатам проблемных аэроизысканий составляется ТЭО (технико-экономическое обоснование) намечаемой к строительству сети автодорог или отдельной титульной автодороги.

Подробные аэроизыскания автомобильных дорог и крупных мостовых переходов выполняются на стадии технического проекта. В состав аэроизысканий входят оценка по аэроснимкам прошлых лет конкурирующих вариантов трассы из числа рекомендованных ТЭО с отбором из них лучших, производство специальной аэросъемки вдоль основных вариантов, детальная укладка трассы каждого основного варианта по аэроснимкам и стереомодели местности с изменением углов, линий и превышений, разбивкой пикетажа и нивелированием трассы.

Работы выполняются по имеющимся топографическим картам, аэроснимкам, фотосхемам, стереоскопическим и математическим моделям местности с использованием имеющегося планово-высотного обоснования и результатов полевого дешифрирования аэроснимков. Работы ведутся на фотограмметрических приборах ЭВМ.

По результатам аэроизысканий проектируют дорогу и ее сооружения, определяют объемы и все основные технико-экономические показатели строительных работ по каждому из сравниваемых между собой вариантов трассы. В процессе оценки основных показателей выбирается основной вариант, по которому в дальнейшем составляют проект организации

строительства дороги, смету на строительство, оформляют и издают технический проект.

В процессе аэроизысканий укладывается камерально по материалам аэросъемки трасса в виде пространственной кривой и выносится в натуру по завершении всех работ.

На стадии составления рабочих чертежей проводятся предпостроечные аэроизыскательские работы, в процессе которых уточняется положение трассы, а на отдельных сложных участках выполняются крупномасштабная аэросъемка. В отдельных местах ведут полевою привязку и полевое дешифрирование с детальными инженерно-геологическими и гидрогеологическими обследованиями местности под дорожные сооружения. По результатам предпостроечных аэроизысканий проводится детальное проектирование всех сооружений автодороги.

При двухстадийном проектировании – на первой стадии проводят подробные аэроизыскания и составляют технический проект, на второй – предпостроечные аэроизыскания и составление рабочих чертежей.

При одностадийном проектировании состав подробных и предпостроечных изысканий объединен в один процесс, на основе которого составляют единый технорабочий проект. Одностадийное проектирование применяется при небольших и несложных объектах, реконструкциях дорог и мостовых переходов. Независимо от технологической схемы, применяемой на проектируемой дороге, полевые аэроизыскательские работы целесообразно выполнять только один раз для всех стадий проектирования.

§ 3. Совершенствование и автоматизация проектно-изыскательских работ аэрогеодезическими методами

При выборе методов автоматизации необходимо найти наиболее целесообразные пути создания специальных единых высокоэффективных комплексов для выполнения проектно-изыскательских работ. Такие комплексно-автоматизированные поточные системы должны сочетать стереофотограмметрические измерения и дешифрирование аэроснимков с автоматизированной записью результатов, аналитическими определениями на ЭВМ и автоматическими построениями на графопостроителях с программным управлением. Они могут обслуживать не только аэроизыскательский процесс, но и все последующие за ним проектные работы. Такие

системы в основном используют камеральные методы и поэтому могут применяться независимо от погоды и природных условий, степени доступности отдельных мест и сложности перемещения изыскателей на местности.

Совершенствование проектно-изыскательских работ ведется по нескольким направлениям, главные из которых: 1) создание новых фотограммприборов или приставок к ним, обеспечивающих автоматическое или полуавтоматическое получение по аэроснимкам всей необходимой проектно-изыскательской информации о местности в виде планов и профилей трассы с размещением на ней проектируемой дороги, топопланов, фотопланов и макетов местности с нанесенной на них трассой или участками дорожного полотна; 2) применение ЭМВ, на которых обрабатывают исходные данные фотограмметрических измерений, выполненных вдоль трассы по стереомодели или аэроснимкам, и ведут необходимые аналитические определения, а затем на электрокоординатографах-автоматах или автоматизированных графопостроителях с программным управлением получают графическую продукцию.

Наряду с комплексно-автоматизированным аэроизыскательским процессом в настоящее время созданы условия для образования таких систем при выполнении инженерно-геодезических работ и топосъемок. Современные механизированные наземные геодезические и геологические работы наиболее целесообразны в период предпостроечных изысканий и рабочего проектирования. Они предназначены в основном для отдельных уточнений и корректировки технического проекта и переноса готового проекта дороги в натуру, для производства разбивки основных элементов запроектированных сооружений и установки на местности знаков, закрепляющих результаты проектирования.

§ 4. Технология воздушных обследований

Воздушные обследования местности выполняются на специально оборудованных самолетах или вертолетах группой опытных инженеров-изыскателей постоянного состава. Указанные обследования успешно заменяют ряд трудоемких и длительных работ на местности аналогичными работами в воздухе, обеспечивают наблюдателю широкий обзор, плохо просматриваемый непосредственно на местности, дают возможность наглядно и объективно оценить топографические, геологические, гидрогеологиче-

ские условия местности, выбирая конкурирующие направления проектируемой дороги, и принимать инженерные решения по их размещению.

Воздушные обследования проводят после камерального трассирования возможных направлений дороги по топокарте и аэроснимкам прошлых лет. При обследовании в первую очередь устанавливают положение контрольных точек, через которые неизбежно должна пройти дорога, и находят полосу местности, в пределах которой могут располагаться возможные варианты трассы. С этой целью в горах, например, первый полет проходит вдоль характерных перевальных хребтов и основных речных долин, а затем уже вдоль ломаной линии, соединяющей все заданные пункты и выделенные в предыдущем полете промежуточные точки трассирования. Назначение возможных и отбирают конкурирующие направления трассы по их основным технико-экономическим показателям, протяженности и особенностям прохождения ими наиболее сложных участков местности.

При воздушном обследовании отобранных вариантов трассы основное внимание сосредоточивают на детализации расположения отдельных участков дороги и на более глубоком изучении топографических, геологических, почвенно-грунтовых и гидрогеологических особенностей местности с целью рационального размещения приближенно укладываемых вариантов дорожной трассы. При воздушных обследованиях сложной горной местности рекомендуется использовать материалы аэросъемки прошлых лет. По ним уточняют положения вариантов трассы и объективно обосновывают все применяемые инженерные решения.

В процессе воздушных обследований следует избегать каких-либо записей на бумагу. Их нужно заменять киносъемкой и перспективной фотосъемкой местности, лаконичной записью наиболее важных мыслей, решений и результатов наблюдений на магнитную ленту или условными знаками на топокарту. Запись на магнитофоне должна быть привязана к определенным объектам местности, указанным на карте или аэроснимках. Кроме магнитофонов в полете также следует использовать спектровизоры для снятия спектрограмм с отдельных характерных участков местности и специальные приборы, определяющие интенсивность тепловых (инфракрасных) и γ -излучений над отдельными объектами местности. Положение вариантов трассы фиксируют на карте, аэроснимке и фотосхемах.

В процессе воздушных работ выявляют участки трассы с предельными продольными уклонами, минимальными радиусами горизонтальных

кривых и плохой видимостью в плане, сложные места и естественные препятствия для дорожно-строительных работ, участки дорог с расположением основных искусственных сооружений и сконцентрированных объемов земляных работ, приближенные объемы дорожно-строительных работ каждого варианта трассы. По полученным данным выбирают конкурирующие варианты трассы, которые обследуют при полетах на более низкой высоте.

Каждый квадрат в полете расчленяют на участки, характерные однородностью условий и объемами дорожно-строительных работ, трудоемкостью их производства. Например, к участкам с малыми объемами земляных работ относят участки, проходящие по речным долинам или водоразделам с пологими склонами, участки по плавным пологим косогорам. К участкам со средней трудоемкостью строительства относят проходящие по извилистым косогорам средней крутизны, через болота небольшой глубины и т.д. Трудоемкими считаются участки с крутыми, сильно изрезанными склонами, скальными прижимами, глубокими болотами и т.д.

В полетах устанавливают основное положение вариантов на местности, их примерную длину, характеристику продольного профиля однородных участков трассирования, примерные размеры основных элементов в плане и профиле, общие размеры крупных искусственных сооружений, среднее число малых и средних сооружений, приходящихся на километр однородного участка трассы, примерные объемы строительных работ и т.д.

Для наглядной иллюстрации сложных условий и различных особенностей проводят выборочное перспективное фотографирование.

Качество воздушных трассировочных работ обычно уступает качеству аналогичных работ, выполняемых по аэросъемочным материалам. Поэтому обследование конкурирующих вариантов целесообразно совмещать со специальной аэросъемкой, которая может быть кадровой и целевой, съемку целесообразно сопровождать аэрорадионивелированием. При этом аэросъемку выполняют независимо от погодных условий.

В отдельных случаях воздушные обследования могут быть положены в основу предварительных воздушных рекогносцировочных изысканий дорог. Однако они применяются сравнительно редко и только в сложных условиях местности, когда отсутствуют съемки прошлых лет, а аэросъемочные работы в процессе их выполнения не были предусмотрены.

Основным показателем оптимальности проектирования автодороги и критерием оценки качества ее трассирования служат минимальные приведенные суммарные строительно-эксплуатационные и транспортные расходы при обеспеченной безопасности движения на всем протяжении, т.е.

$$C_{\text{пр}} = K_0 C_{3.3} + K_1 C_3 + K_2 C_{\text{Од}} + K_3 C_{\text{ИС}} + K_4 C_{\text{Об}} + K_5 C_{\text{ЭК}} + K_6 C_{\text{СН.З}} + K_7 C_{\text{ТР}} + K_8 C_{\text{П.ПР}} + K_9 C_{\text{П.Б}} + K_{10} C_{\text{К}},$$

где $C_{3.3}$ – стоимость занятия земель; C_3 – стоимость строительства земляного полотна; $C_{\text{Од}}$ – стоимость дорожной одежды; $C_{\text{ИС}}$ – стоимость искусственных сооружений; $C_{\text{Об}}$ – стоимость возведения дорожных устройств; $C_{\text{ЭК}}$ – расходы по эксплуатации; $C_{\text{СН.З}}$ – расходы по борьбе со снежными заносами и другими природно-климатическими явлениями; $C_{\text{ТР}}$ – транспортные расходы на дороге; $C_{\text{П.ПР}}$ – стоимость потерь, вызванных происшествиями на дороге; $C_{\text{П.Б}}$ – стоимость потерь, вызванных мероприятиями по обеспечению безопасности движения; $C_{\text{К}}$ – затраты на обеспечение комфортабельности.

Задача проектировщика сводится к достижению минимума расходов. В соответствии с этим для выбора рационального положения дороги и ее сооружений необходимо знать не только наличие, но и стоимость всех угодий и топографических объектов, разместившихся в притрассовой зоне, стоимость преодолевания участков с неблагоприятными геологическими и гидрогеологическими условиями местности. Все это должно устанавливаться при дешифрировании аэроснимков и уточняться в процессе проектирования и согласования проектов.

§ 5. Методы трассирования

Внедрение аэросъемки, фотограмметрии, автоматики и электронной вычислительной техники в проектировании современных автодорог позволяет в настоящее время использовать самые различные виды и методы укладки трассы. Сейчас используются камеральные, комбинированные (камерально-полевые) и полевые методы трассирования.

Камеральное трассирование ведется по аэросъемочным материалам с применением стереофотограмметрии, дешифрирования аэроснимков и электронной вычислительной техники. Полевые работы применяются лишь для перенесения запроектированной трассы в натуру.

Комбинированный метод предусматривает камеральное трассирование вариантов и предварительную укладку трассы по топопланам, фотопланам, фотосхемам, стереомоделям с последующим размещением отдельных участков трассы и их элементов в поле с помощью геодезических приборов.

Полевое трассирование предусматривает выполнение всего комплекса работ по выбору направлений размещения вариантов и детальной укладки трассы в натуре по материалам аэросъемки с использованием геодезических приборов. Каждый из методов имеет свою комплексную технологию работ и свою сферу применения.

В настоящее время наиболее рациональным и перспективным методом трассирования автодорог следует считать камеральный с его методами – аналитическим и стереофотограмметрическим. В этом виде работ аналитический метод предусматривает трассирование работ по математической модели местности с помощью ЭВМ, а стереофотограмметрический – укладку трассы по стереоскопической или геометрической модели на стереоприборах.

Комбинированный метод трассирования преимущественно используется на отдельных участках закрытой (заселенной или залесенной) местности для детализации отдельных мест, при рабочем проектировании вообще и на небольших объектах одностадийного проектирования при наличии готовых аэросъемочных материалов.

Полевой вид трассирования по материалам аэросъемки используется сейчас довольно редко на небольших объектах проектирования в простых условиях местности.

В зависимости от стадии проектирования, характера проектно-изыскательских работ, сложности условий местности и наличия современных средств оснащения в каждом из видов трассирования могут быть использованы воздушные обследования.

§ 6. Изыскания дорог по материалам аэросъемки в сложных условиях местности

К сложным участкам укладки трассы относятся места индивидуального проектирования дороги: переходы через крупные водотоки и крупные высокие хребты; косогорные ходы по крутым извилистым склонам; участ-

ки преодоления осыпей, оползней; прохождения трассой прижимов и подмываемых участков; участки селей, крупных действующих оврагов и конусов выноса; места проектирования серпантина, участки прохождения трассы через болота; места подвижных и полужакрепленных песков и т.д. Проектирование дорог на этих участках имеет свои особенности.

Изыскание трассы в районах действия оползней, осыпей, конусов выноса и карста. При проектировании дорог в районах, охваченных оползневыми явлениями, по аэроснимкам получают ясное представление о взаиморасположении существующих оползней, границах залегания неустойчивых слоев горных пород, общем характере водного режима, природе причин, вызвавших или вызывающих оползневые явления. Дешифрование снимков оползневого участка по характеру микрорельефа и тональности изображения дает возможность установить его подземный водный режим, найти основные очаги, способствующие водонасыщению, и определить основные плоскости скольжения.

По результатам детальных инженерных работ на аэроснимках и стереомодели местности можно успешно решать противооползневые мероприятия и запроектировать сооружения по укреплению неустойчивых склонов для проведения по ним дороги.

Изучение местности на участках осыпей помогает установить по стереомодели степень устойчивости их склонов, условия прохождения или обхода осыпи, рационально уложить дорожную полосу и наметить укрепительные мероприятия.

Конусы выноса и динамика их образования, выраженные многочисленными линиями стока воды и характером отложения аллювиального материала, хорошо видны на аэроснимках, на снимках отражен также процесс размыва древних конусов выноса, ярко представленный в виде своеобразного сложного рисунка.

Наличие карста на аэроснимках устанавливается по изображению карстовых воронок и форм рельефа, свойственных этому явлению. По размещению воронок, их состоянию и своеобразию форм окружающей местности можно определить степень активности, форму и направление распространения карстовых нарушений, найти наиболее устойчивые участки местности, наметить инженерные мероприятия по сохранению естественных условий водоотвода при сооружении дороги и по предотвращению активности карста.

Проложение трассы через болота. При трассировании автодорог через болотные массивы необходимо знать подробную характеристику их размещения. По аэроснимкам она составляется исходя из особенностей изображения поверхности болот и своеобразия распределения на ней растительного покрова, микрорельефа, увлажнения и водных пространств. По этим признакам определяют разновидность различных типов болот, степень увлажнения, специфику распределения глубин, степень заозерности и т.д.

Поверхность болот на аэроснимках изображается серым тоном с темными пятнами воды и переувлажненных мест или искривленными полосками волокнистого типа. Малопроезжимые болота обычно имеют хорошо видимые на стереомодели крутые склоны берегов, покрытые лесом. Отсутствие растительности на болотах с замкнутыми контурами и крутыми берегами указывает на большую глубину болота. При трассировании их следует обходить.

Травяные болота располагаются близ рек. На аэроснимках они изображены ровным темно-серым тоном, обрамленным по краям светлыми полосами более сухих мест. Темные участки этих болот непроходимы, а светлые – проходимы. Моховые болота располагаются на плоских водоразделах или впадинах. На снимках они изображаются чередованием светлых моховых гряд с темными мочажинами.

На заросших или зарастающих озерах гряды образуют замкнутые контуры разнообразной тональности и рисунка. Камышовые и тростниковые болота обычно расположены в староречьях, дренируемых котловинах и высыхающих озерах. На аэроснимках они имеют серый тон с высоким растительным покровом, видимым на стереомодели.

Характеристику лесных болот составляют по виду древесной растительности на их поверхности. Наличие сплошного леса с угнетенной кроной указывает на переувлажненность почвы, проходимость болота; редколесье и чахлая растительность – на трудную проходимость болота, а полное отсутствие древостоя и обилие мочажин – на полную непроходимость болота.

При специальном дешифрировании снимков можно получить всестороннюю характеристику болота, примерное направление скатов его дна, примерную глубину, размещение наиболее глубоких и мелких мест, условия увлажнения и т.д.

На основе всестороннего дешифрирования можно безошибочно решить вопрос о наиболее эффективном направлении трассы при проходе ее через болотистый массив и провести приближенное технико-экономическое сравнение возникших вариантов.

Трассирование дорог в условиях вечной мерзлоты. Мерзлотно-грунтовые условия бывают: а) простые с однообразным напластованием грунтов, однородностью их состава и свойств, выдержанным залеганием кровли вечномерзлых грунтов без грунтовых вод и проявлений мерзлотных процессов; б) сложные с разнообразным напластованием, неоднородностью состава и свойств грунтов. Каждая группа этих условий по аэроснимкам может быть четко выделена и охарактеризована.

При трассировании дорог в условиях вечной мерзлоты можно на основе камерально-полевого дешифрирования аэроснимков установить участки со скальными и хорошо дренируемыми скелетными грунтами, участки льдонасыщенных неустойчивых грунтов, ледяные линзы, наледи и мари. По аэроснимкам-эталонам, составленным при полевом дешифрировании, можно уверенно охарактеризовать все остальные геологические и гидрогеологические условия и распространить характерные признаки и черты изображений на другие участки местности. Достоверность таких определений обычно не вызывает сомнений. Различные породы, слагающие поверхность вечной мерзлоты, изображаются на снимках своеобразно.

Условия укладки трассы в песчаных пустынях. При изысканиях дорог в пустынях и полупустынях основное влияние на размещение трассы оказывает степень подвижности песков, которая хорошо определяется камерально на аэроснимках. Подвижным барханным пескам свойственны определенные формы рельефа и редкое произрастание кустарников в межбарханных понижениях, хорошо видимых на аэроснимке в виде точек. Полуподвижные пески имеют иной характер рельефа и ячеистое произрастание растительности в виде небольших ровных черных пятен, размещенных по площади песчаных отложений в зоне устойчивых песков. Как первые, так и вторые легко отличаются от закрепленных песков, имеющих своеобразный рельеф и сплошной растительный покров. Такыры на стереомодели видны в виде ровных однотонных плоскостей. По аэроснимкам также можно установить степень засоленности почв и грунтов. На общем тоне изображения поверхности земли участки с сухими засоленными грунтами резко выделяются своим более светлым тоном, а участки с мокрыми засоленными грунтами – наоборот, сильным потемнением тона изображения.

Глава 7. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО АЭРОСНИМКАМ

§ 1. Определение масштаба аэроснимка

Изображение на аэроснимке строится в соответствии с законами центральной проекции, и, если бы на местности отсутствовали превышения, а аэроснимок был бы горизонтален, что называют идеальным случаем съемки, масштаб аэроснимка m определится из выражения

$$1/m = f/H, \quad (29)$$

где f – фокусное расстояние аэрокамеры; H – высота фотографирования.

Вследствие искажений на аэроснимке, обусловленных рельефом местности и углом наклона, масштаб аэроснимка в различных его частях различен, поэтому часто пользуются средним масштабом, получаемым как отношение суммы отрезков на аэроснимке к сумме этих же отрезков на местности, т.е.

$$\frac{1}{m} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n}, \quad (30)$$

где l_1, l_2, \dots, l_n – длина отрезков на аэроснимке; L_1, L_2, \dots, L_n – длина этих же отрезков на местности.

Смещение точек на аэроснимке обусловлено двумя факторами – физическими и геометрическими. Физические факторы устраняются в процессе аэросъемки и фотолабораторной обработки аэропленки. Искажения же, обусловленные геометрическими факторами, полностью или частично устраняют в процессе фотограмметрической обработки аэроснимка. Поправку за рельеф вычисляют по формуле

$$S_h = rh/H, \quad (31)$$

где r – расстояние от главной точки аэроснимка до точки, для которой определяется поправка; h – превышение точки над средней плоскостью; H – высота фотографирования.

При положительном превышении смещение точки направлено от центра, поэтому поправку следует вводить по направлению к центру, в случае отрицательного превышения – наоборот.

Поправка, обусловленная углом наклона для планового аэроснимка ($\alpha \leq 3^\circ$), определяется из выражения:

$$S_h = \frac{-r^2}{F} \sin \alpha \sin \gamma, \quad (32)$$

где f – фокусное расстояние аэрокамеры; α – угол наклона аэроснимка, γ – угол, составляемый главной горизонталью аэроснимка и радиусом-вектором.

Правильное положение точки определяется последовательным введением поправки за угол наклона и рельеф местности.

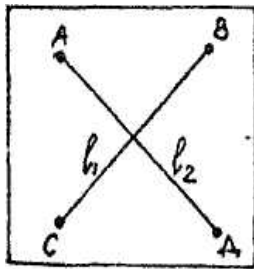
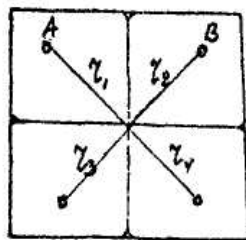


Рис. 32. К определению масштаба аэроснимка

На аэроснимке, представленном на рис. 32, заданы точки A, B, C, D . Расстояния AD и CB на местности определяют по карте. Масштаб снимка устанавливают в соответствии с формулой (30), с этой целью на эроснимке определяется длина отрезков l_1 и l_2 с помощью циркуля-измерителя и поперечного масштаба.

– по расстоя-



няющих

лютных горизон-

Рис. 33. Определение отрезков на карте

Поправку на рельеф вычисляют по формуле (31). Высоту фотографирования формуле (29) при известном фокусном нии.

Центральная точка аэроснимка находится на пересечении прямых, соединяющих координатные метки (рис. 33). Измеряют величину радиусов-векторов. По найденным на карте значениям абсолютных точек вычисляют среднюю тальную плоскость

$$H_{cp} = H_a + H_b + H_c + H_d \quad (33)$$

и находят превышение каждой точки над средней плоскостью:

$$h_i = H_i - H_{\text{ср}} \quad (34)$$

По результатам измерений, записанным в табл.2, вычисляют значения поправок.

Таблица 2

Название точки	r , мм	H_i , м	h , м	S_h , мм	Примечание
<i>A</i>	62	171,5	-6,6	-0,4	$H_{\text{ср.}} = 178,1\text{м}$
<i>B</i>	71	175,2	-2,9	-0,2	$H = 1000,0\text{м}$
<i>C</i>	74	184,1	+6,0	+0,4	
<i>D</i>	67	181,5	+3,4	+0,2	

Вычисленное значение поправки откладывают по направлению радиуса в соответствии со знаком, если ее значение по абсолютной величине превосходит 0,3 мм. Поправку за угол наклона вычисляют по формуле (32). С этой целью измеряются новые значения радиусов и углы (рис. 33). Результаты измерений записывают в табл.3 и вычисляют значение S_α , учитывая известное значение α

Таблица 3

Название точки	r , мм	r^2 , мм ²	φ°	$\sin\varphi$	$\delta\alpha$, мм	Примечание
<i>A</i>	71,1	5055	41	0,656	-1,16	$d = 2^\circ$
<i>B</i>	75,0	5625	132	0,743	-1,46	$f = 100\text{ мм}$
<i>C</i>	74,0	5476	231	-0,777	+1,48	$\sin\alpha/f = 3,49^{-4}$
<i>D</i>	67,2	4516	319	-0,656	+1,03	

При положительных значениях S_α откладывают от центра, при отрицательных – к центру. Полученные значения точек соединяют пунктирной линией.

§ 2. Дешифрирование аэроснимков

Для составления плана по аэроснимкам необходимо использовать геодезические данные. На аэроснимке должно быть четыре опознавательных знака (точки, определенные геодезически и опознанные на аэроснимке), расположенных по углам его рабочей площади. Эти же точки по коор-

динатам наносят на планшет, совмещают точки снимка и планшета, таким образом, устраняя искажения в этих четырех точках, а, следовательно, и во всех других точках, расположенных внутри рабочей площади рисунка.

Точки аэроснимков отождествляют по карте и переносят на планшет. На аэроснимке и плане вычерчивают коллинеарные сетки. С этой целью попарно соединяют точки на аэроснимке AB , CD , AC , BD и ab , cd , ac , bd (рис. 34).

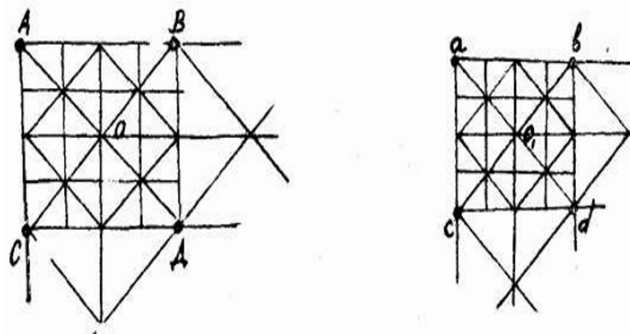


Рис. 34. Коллинеарные сетки

В четырехугольниках аэроснимка и планшетика проводят диагонали, а из точек C , B , D и c , b , d – линии, параллельные диагоналям. Через имеющуюся точку O и полученную точку O_1 пересечения диагоналей проводят прямые, образуя четыре четырехугольника. В полученных четырехугольниках вновь проводят диагонали, а через точки их пересечения – прямые. Последовательное деление на четырехугольники выполняют до тех пор, пока сторона квадрата на аэроснимке не будет равной 10 – 15 мм.

Дешифрирование аэроснимков заключается в отождествлении объектов местности и аэроснимков. Используя сетку четырехугольников, переносят идентичные контуры с аэроснимка на план и вычерчивают их тушью в соответствии с условными знаками. Сетку четырехугольников на плане стирают, а план оформляют в соответствии с принятыми стандартами.

§ 3. Проектирование аэросъемки

Аэросъемка – фотографирование земной поверхности с летательного аппарата – при изысканиях и проектировании автодорог имеет свои особенности. Плановую маршрутную съемку выполняют только в пределах участка расположения трассы дороги и ее вариантов, определяемых по карте или результатам аэровизуальных наблюдений.

Съемку вариантов трассы проводят в масштабе 1 : 20000 – 1 : 5000, а для проектирования мостовых переходов и придорожных сооружений аэросъемка выполняется в масштабе 1 : 5000 – 1 : 2000.

На карте проектируют автодорогу из пункта *A* в пункт *B* в 2 – 4 вариантах. Делают выкопировку запроектированной дороги и мостового перехода на кальку. Наносят на кальку участок автодороги и мостового перехода, подлежащий аэросъемке, считая, что граница аэросъемки располагается в 3 – 4 см на карте от крайней точки автодороги или мостового перехода.

Исходные данные и результаты расчета основных величин аэросъемки для автодороги и мостового перехода внести в табл. 4.

Расчеты вычисляемых величин проводят в соответствии с формулами

$$H = m_c f; P = (62 + 50 \frac{\Delta h}{H})\%; Q = (32 + 50 \frac{\Delta h}{H})\%;$$

$$B = \frac{l_x(100 - Px)}{100} m_c; L_m = l_y m_c; l_k = \frac{l_y m_c}{m_k};$$

$$Z_y = \frac{l_y(100 - Q_i)}{100} m_c; N_m = \frac{L_y}{Z_y}; N_c = \frac{D_x}{B}; N = N_c N_m,$$

где m_k – масштаб карты.

Таблица 4

Наименование и обозначение	Единицы измерения	Величины	
		автодороги	мостовов
Масштаб аэросъемки	мм	1:10000	1:2000
Фокусное расстояние АФА <i>f</i>	см	100	100
Формат аэроснимка $l_x * l_y$	км	18·18	18·18
Длина участка D_x	м	10	2
Ширина участка D_y	м	5	2
Колебания высот на участке $h \Delta$	м	50	15
Средняя высота фотографирования H	м	1000	200
Продольное перекрытие P	%	64,5	64,5
Поперечное перекрытие аэро снимка Q .	%	34,5	34,5
Базис фотографирования B	м	639	127,8
Ширина аэросъемочного маршрута местности Z_m	м	1800	368
Ширина аэросъемочного маршрута на топографической карте l_x	мм	72	14,4
Расстояние между смежными аэросъемочными маршрутами Z_y	м	1179	253,8

Количество маршрутов на участке N_M	шт.	5	5
Число снимков в маршруте N_c	шт.	16	17
Число снимков на каждом из участков N_μ	шт.	80	153

Вычисленное количество маршрутов и снимков округлить до целого в сторону увеличения. Маршруты аэросъемки нанести на кальку, выделив поперечное перекрытие; на одном из маршрутов показать продольное перекрытие.

§ 4. Оценка качества залета. Монтаж фотосхемы

Наиболее обзорным материалом является простая фотосхема, представляющая фотографическое изображение местности, полученное путем монтажа плановых аэроснимков. Фотосхему равнинной и равнинно-холмистой местности можно рассматривать как приближенный фотографический план местности. Маршрутные фотосхемы монтируются из аэроснимков одного маршрута, а площадные – из аэроснимков нескольких маршрутов.

Оценка качества залета проводится для одного маршрута по следующим параметрам исходя из имеющихся исходных данных.

1. Продольное перекрытие – представляет собой величину одного и того же участка местности, изобразившегося на соседних снимках одного маршрута. Оно зависит от рельефа местности и задается в соответствии с выражением:

$$p=(62+50h/H) \%,$$

где P – продольное перекрытие, %; h – превышение в пределах аэроснимка, м, H – высота фотографирования, м.

Однако вследствие различных причин при производстве аэросъемки величина его может отличаться от расчетного значения, но не должна быть менее 55 %. В противном случае аэросъемку выполняют повторно.

Определение величины продольного перекрытия проводят измерением перекрывающейся части (рис. 35) миллиметровой линейкой и вычисляют исходя из зависимости

$$p=l/d \cdot 100,$$

где l – перекрывающаяся часть, мм; d – длина стороны аэроснимка, мм.

2. Непараллельность сторон аэроснимка направлению маршрута, называемое «елочкой», представляет угол между направлением линии базиса OO_1 (рис. 61) и линией OA , соединяющей координатные метки.

Находят центры соседних в маршруте аэроснимков на пересечении координатных меток. По контурам перекалывают их и транспортиром измеряют величину угла AOO_1 , который в качественном залете не должен быть более 5 град.

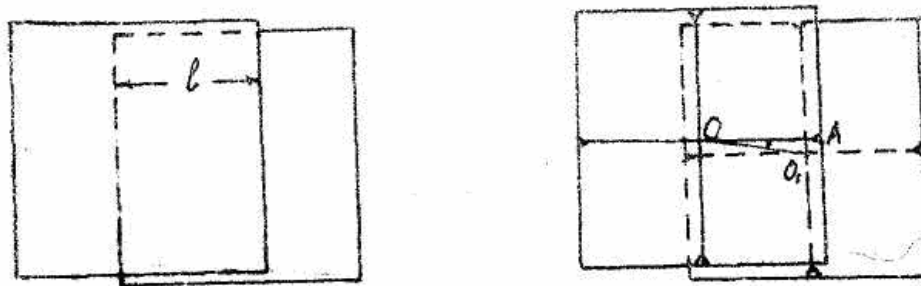


Рис. 35. Перекрытие аэроснимков

3. Углы наклона на плановых аэроснимках не должны превышать 3 град. Их контролируют по изображению пузырька круглого уровня, впечатываемого на каждый аэроснимок вместе с окружностями, каждая из которых соответствует последовательно 1° , 2° , 3° . Касание изображения пузырька какой-либо из них соответствует углу наклона аэроснимка.

4. Непрямолинейность маршрута – отклонение центров аэроснимков от прямой, соединяющей центры первого и последнего аэроснимков криволинейного участка маршрута (рис. 36).

Криволинейность маршрута определяют стрелкой прогиба l , которая не должна превосходить 3%, т.е. $l/L100=3\%$, где L – длина криволинейного участка.

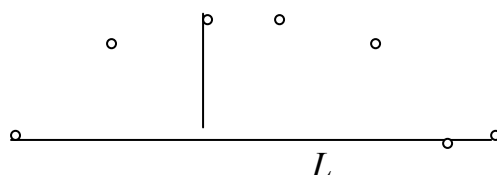


Рис. 36. Непрямолинейность маршрута

5. Ошибка выравнивания пленки в плоскость не должна превышать 0,1 мм, что проверяется совмещением линии на контрольной линейке с контрольными нитями аэроснимка, впечатываемыми одновременно с фотографированием местности.

Из аэроснимков, используемых для оценки качества залета, произвести монтаж простой фотосхемы. Монтаж фотосхемы выполняют по контурам, при этом используют центральные части каждого аэроснимка, так как искажения их наименьшие. Для совмещения контурных точек один аэроснимок накладывают на другой. Проверку совмещения контурных точек проводят прокалыванием их иглой с верхнего аэроснимка на нижний. Накол на нижнем снимке должен совпадать с соответствующим контуром. Из-за разномасштабности снимков и других искажений точки в общем случае совпадать не будут, поэтому, смещая один снимок относительно другого, добиваются примерно одинакового расхождения между одноименными точками, совместив таким образом два смежных аэроснимка, закрепляют их грузиками и разрезают скальпелем по середине продольного перекрытия зигзагообразной линией, чтобы порезать наименьшее количество контуров и под менее острыми к ним углами. Обрезки аэроснимков сохраняют, так как они необходимы для последующей оценки точности фотосхемы.

Рабочие части аэроснимков наклеивают, соединяя и заглаживая стыки. Для наклейки используют клей, не вызывающий деформаций – резиновый или ацетоновый. Наклейку фотосхемы следует начинать из середины к краям с целью уменьшения азимутальных искажений.

Фотосхему оформить в соответствии с образцом и провести оценку точности по величинам расхождений одноименных контуров на стыковых линиях смежных аэроснимков.

К смонтированному аэроснимку прикладывают обрезанную при монтаже часть аэроснимка и прокладывают ряд контурных точек, находящихся вблизи линии пореза. Затем просматривают следы проколов на фотосхеме и оценивают величины уклонения проколов от соответствующих контуров. Аналогично проводят оценку несовпадения проколов с контурами на всех стыковых линиях, выбрав 3-5 точек на один порез. Величины уклонений подписывают на схеме в соответствии с имеющимися порезами.

§ 5. Стереозффект. Определение превышения

В практике решения проектно-изыскательских задач бывает потребность в определении и учете основных форм рельефа. Для рисовки рельефа под стереоскопом необходимо на одном из снимков стереопары иметь высотные пикетные точки. Их располагают, как и при полевой рисовке, на всех вершинах, водоразделах, седловинах, резких перегибах скатов и т.д.

Горизонталы рисуют под стереоскопом пространственным интерполированием высот между пикетами и вырисовыванием форм рельефа по видимой стереомодели. Наблюдение стереопары начинают с получения прямого, обратного и нулевого стереозффектов.

1. Получение прямого стереозффекта Для этого под левое зеркало стереоскопа кладут левый, а под правое – правый аэроснимок стереопары таким образом, чтобы начальные направления на аэроснимках располагались параллельно базису стереоскопа. Затем передвигают аэроснимки вдоль начальных направлений до тех пор, пока в поле зрения обоих глаз появятся одноименные точки аэроснимков и сольются в одно пространственное изображение.

Правильность ориентирования стереомодели в пространстве устанавливают по горизонтальности водных поверхностей (пруды, озера), по соответствию видимого и действительного направления течения рек, по совпадению видимых превышений и действительных разностей высот, определяемых по отметкам точек.

Ориентирование стереомодели уточняют вращением снимков в своей плоскости в противоположных направлениях (при наличии поперечного наклона модели) или подкладыванием под один из аэроснимков картона или фанеры (при продольном наклоне).

В итоге эффект должен восприниматься без особого напряжения глаз.

2. Получение обратного стереозффекта. Для этого аэроснимки меняют местами и ориентируют аналогично предыдущему.

3. Получение нулевого стереозффекта. Снимки разворачивают в своей плоскости в одном направлении на 90 град. Ориентируют снимки обычными приемами. Под стереоскопом выполняют рисовку рельефа по пикетным точкам. Пикеты набирают с карты на данный участок залета интерполяцией между горизонталями.

Рисовку горизонталей рекомендуется начинать или с самых низких мест, или с тех горизонталей, которые выражают наиболее характерные

формы рельефа. Интерполируют высоты точек вдоль тальвегов и водоразделов, на склонах и т.д. и намечают точки, через которые должны проводить горизонтали. Интерполирование выполняют глазомерно. В процессе интерполирования необходимо изменять величину заложения в соответствии с профилями местности между двумя данными пикетами.

Имея величину заложения по основным скелетным линиям, рисуют горизонтали по всей площади стереопары, вырисовывая по видимой стереомодели формы рельефа. Если основные формы рельефа не могут быть выражены горизонталями основного сечения, их показывают полугоризонталями.

По окончании работы в результате повторного общего просмотра уточняют рисунок горизонталей, согласовывают характерные формы, уточняют заложения на склонах, водоразделах, исправляют допущенные неточности.

Рисовку рельефа следует выполнять простым карандашом, предварительно протерев аэроснимок жесткой стиральной резинкой. На основании дешифрирования аэроснимков и обзора стереомодели под стереоскопом устанавливают направление возможных вариантов между заданными точками *A* и *B*.

Для получения стереоэффекта соответственные части фотосхемы помещают под левым или правым зеркалом стереоскопа с одновременным подкладыванием аэроснимка стереопары. В результате визуальной стереоскопической оценки инженерно-строительных характеристик и приближенных примеров длин линий назначают на фотосхеме возможные варианты трассы, основные характеристики которых записываются в табл.5. Радиусы горизонтальных кривых оцениваются на глаз, исходя из видимой на стереомодели извилистости и степени кривизны склонов местности. Выбирают основной вариант трассы, который выделяют красной тушью, а остальные варианты – синей.

Таблица 5

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Варианты	
			I	II
1	Протяженность	км		
2	Количество сооружений	шт.		
3	Число углов поворота	шт.		
4	Средний угол поворота	Град.		
5	Число сносимых сооружений	шт.		

6	Протяженность участка в сложных условиях	км		
7	Перепады высот в пределах трассы	м		

Список рекомендуемой литературы

1. Лобанов, А. Н. Аэрофототопография / А. Н. Лобанов. – М. : Недра, 1978. – 575 с.
2. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия/ А. Н. Лобанов. – М. : Недра, 1984. – 552 с.
3. Федоров, В. И. Аэроизыскания автомобильных дорог и мостовых переходов / В. И. Федоров. – М. : Недра, 1975. – 256 с.
4. Шилов, П. И. Инженерная геодезия и аэрогеодезия / П. И. Шилов. – М.: Недра, 1971. – 384 с.
5. Метелкин, А. И. Фотограмметрия при изысканиях и проектирование дорог / А. И. Метелкин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1982. – 100 с.

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. АНАЛИЗ АЭРОСНИМКА.....	7
§ 1. Элементы теории перспективы	7
§ 2. Элементы ориентирования аэроснимка	8
§ 3. Связь точек аэроснимка и местности	10
§ 4. Факторы, обуславливающие смещение точек на аэроснимке	11
Глава 2. АЭРОФОТОСЪЕМКА	15
§ 1. Общие положения, оборудование, аэросъемочный процесс	15
§ 2. Основные фотографические характеристики светочувствительного слоя	17
§ 3. Оценка качества залета	18
Глава 3. КОНТУРНО-КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД СЪЕМКИ.....	21
§ 1. Сущность контурно-комбинированного метода съемки.....	21
§ 2. Камеральные работы при контурно-комбинированной съемке	22
§ 3. Составление фотопланов и фотосхем.....	26
Глава 4. СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД СЪЕМОК	28
§ 1. Сущность стереофотограмметрической съемки	28
§ 2. Формулы превышений	30
§ 3. Элементы взаимного ориентирования стереопары.....	31
§ 4. Определение элементов внешнего ориентирования.....	34
§ 5. Аэрорадионивелирование.....	35
§ 6. Дифференцированный метод составления планов	36
§ 7. Универсальный метод составления планов и карт	39
Глава 5. ФОТОТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА.....	45
§ 1. Технологическая схема и виды фототеодолитной съемки.....	45
§ 2. Нормальный случай съемки	47
Глава 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗЫСКАНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	49
§ 1. Аэроизыскания автодорог – общие положения	49
§ 2. Технология современных аэроизысканий автодорог и мостовых переходов	50
§ 3. Совершенствование и автоматизация проектно-изыскательских работ аэрогеодезическими методами	52

§ 4. Технология воздушных обследований	53
§ 5. Методы трассирования	56
§ 6. Изыскания дорог по материалам аэросъемки в сложных условиях местности.....	57
Глава 7. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО АЭРОСНИМКАМ	61
§ 1. Определение масштаба аэроснимка	61
§ 2. Дешифрирование аэроснимков	63
§ 3. Проектирование аэросъемки	64
§ 4. Оценка качества залета. Монтаж фотосхемы	66
§ 5. Стереозэффект. Определение превышения.....	68
Список рекомендуемой литературы.....	71

Учебное издание

ОРОБИНСКИЙ Владимир Степанович

ОСНОВЫ АЭРОФОТОГЕОДЕЗИИ

Учебное пособие

Редакторы Е.А. Амирсейидова, А.П. Володина,

Е.В. Невская, Л.В. Пукова,

Корректоры Е.П. Викулова, В.В. Гурова,

Е.В. Невская, Л.В. Пукова

Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 02.12.05.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 4,46. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.