



Лекция 7: ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ СНИМКОВ. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОСХЕМ И ФОТОПЛАНОВ

Вопросы:

7.1 Трансформирование снимков.

7.1.1 Понятие о трансформировании снимков. Виды трансформирования. Аналитическое трансформирование.

7.1.2 Устройство фототрансформатора.

7.1.3 Оптические и геометрические условия трансформирования.

7.1.4 Трансформирование снимков на фототрансформаторе: трансформирование по опорным точкам, учет рельефа при фототрансформировании.

7.2 Фотопланы и фотосхемы.

7.2.1 Понятие о фотосхемах и фотопланах.

7.2.2 Способы изготовления фотосхем.

7.2.3 Технология изготовления фотопланов.

7.2.4 Контроль качества проявления фотосхем и фотопланов.

Литература

1. Назаров, А.С. Фотограмметрия: учебное пособие для студентов вузов / А. С. Назаров. -Мн.: ТетраСистемс, 2006. –368 с.

2. Ильинский, М.Д., Фотограмметрия и дешифрирование снимков / М.Д. Ильинский, А.И. Обиралов, А.А. Фостиков. - М.: Недра, 1986.– 375с.

3. Обиралов, А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.И. Обиралов, А.Н.Лимонов, Л.А.Гаврилова. – М.: КолосС, 2006. – 336 с.

Вопрос: 7.1 Трансформирование снимков

Вопрос 7.1.1 Понятие о трансформировании снимков. Виды трансформирования. Аналитическое трансформирование

Трансформированием называется преобразование центральной проекции, которую представляет собой аэронегатив (аэроснимок), полученный при наклонном положении главного оптического луча, в другую центральную проекцию, соответствующую его отвесному положению, с одновременным приведением к заданному масштабу.

Для трансформирования аэроснимков применяют несколько способов, различающихся используемыми техническими средствами: аналитический, фотомеханический, оптико-графический, дифференциальный и др.

Аналитический способ трансформирования основан на использовании зависимостей между координатами соответственных точек аэроснимка и местности.

Фотомеханический способ трансформирования основан на использовании специальных приборов – фототрансформаторов. Соответствующими рабочими движениями основные части

фототрансформатора приводят в положение, при котором построенное на экране изображение соответствует горизонтальному аэроснимку, и фиксируют это изображение на фотобумаге. Трансформированный фотоснимок получается в результате химической обработки экспонированной фотобумаги. До недавнего времени этот способ трансформирования был основным.

Оптико-графический способ трансформирования предполагает применение специальных малоформатных приборов – проекторов. Полученное с их помощью трансформированное изображение проектируют на лист бумаги, обводят карандашом и оформляют принятыми условными знаками. В настоящее время способ находит ограниченное применение при обновлении топографических или иных карт неспециализированными предприятиями.

Дифференциальный способ трансформирования (ортотрансформирование) основан на преобразовании отдельных фрагментов исходного изображения с учетом элементов ориентирования аэроснимка и высоты центра этого фрагмента над средней плоскостью. Способ реализуется на приборах универсального типа либо на ЭВМ. Результатом обработки является ортофотоснимок или ортофотоплан.

Аналитическое трансформирование. Аналитическое трансформирование основано на использовании зависимостей между координатами соответственных точек аэроснимка и местности. Положив в ней $Z_M = 0$, $Z_S = H$ и обозначив $Q = H/(c_3f)$, получим формулы проективного преобразования:

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{A_1x + A_2y + A_3}{C_1x + C_2y + 1} \\ Y &= \frac{B_1x + B_2y + B_3}{C_1x + C_2y + 1} \end{aligned} \right\}, \quad (7.1)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= Qa_1, & A_2 &= Qa_2, & A_3 &= -Qa_3, \\ B_1 &= Qb_1, & B_2 &= Qb_2, & B_3 &= -Qb_3, \\ C_1 &= -c_1/(c_3f), & C_2 &= -c_2/(c_3f) \end{aligned} \right\}, \quad (7.2)$$

a_i, b_i, c_i – направляющие косинусы, связывающие направления координатных осей систем аэроснимка и местности.

Формулы (7.1) содержат восемь неизвестных. Одна опорная точка с известными геодезическими координатами позволяет составить два уравнения поправок, полученных путем приведения (7.1) к линейному виду. При наличии пяти и более опорных точек для отыскания неизвестных применяют метод наименьших квадратов, а неизвестные используют для вычисления по формулам (7.1) трансформированных координат X и Y произвольного числа точек.

Способ предполагает равенство высот фотографирования H для всех определяемых точек, что делает его пригодным в случаях, когда колебание рельефа местности не превышает высоты зоны.

Вопрос 7.1.2 Устройство фототрансформатора

Фотомеханическим трансформированием (фототрансформированием) называется такое преобразование фотографического изображения, в результате которого получается новое фотографическое изображение в заданном масштабе и требуемой точности.

Фотомеханическое трансформирование выполняют при помощи специальных оптико-механических приборов – фототрансформаторов.

В кассету фототрансформатора, находящегося в темном помещении, закладывают аэронегатив P (рис. 7.1), освещают его сверху и проектируют изображение через объектив S на экран E .

Механическими перемещениями и наклонами добиваются такого взаимного положения аэронегатива, объектива и экрана фототрансформатора, при котором проекции наколотых на аэронегативе точек a, b, c и d точно совмещаются с нанесенными по координатам точками a^0, b^0, c^0 и d^0 основы, уложенной на экран E . При этом масштаб спроектированного на экран изображения будет равен масштабу основы, а само изображение окажется свободным от перспективных искажений и будет соответствовать плану местности.

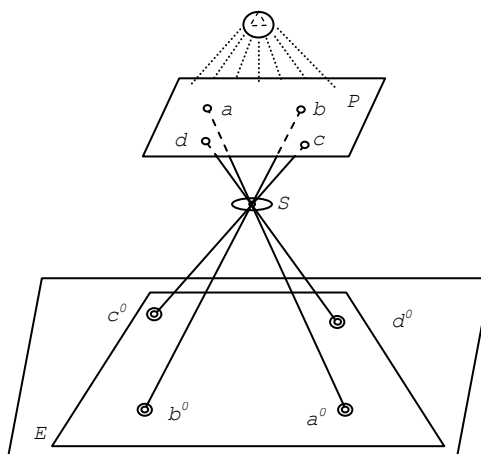


Рис. 7.1. Принципиальная схема фототрансформирования

После совмещения точек объектив закрывают красным светофильтром, заменяют основу фотобумагой и, открыв объектив, печатают трансформированное изображение. После фотографической обработки полученный снимок используют для монтажа фотоплана.

Фототрансформирование можно выполнить двумя путями:

- *восстановить связку проектирующих лучей, подобную существовавшей в момент фотографирования;*
- *построить связку проектирующих лучей в соответствии с условиями теоремы Шаля, т. е. изменив взаимное положение плоскости аэроснимка P и экрана (предметной плоскости E).*

Первый путь реализуется в *фототрансформаторах первого рода*, работающих по принципу подобия связок проектирующих лучей, а второй – в *фототрансформаторах второго рода*, где используется принцип преобразованных связок проектирующих лучей.

Вопрос 7.1.3 Оптические и геометрические условия трансформирования

Для правильного фототрансформирования снимков необходимо, чтобы был выполнен ряд условий, обеспечивающих резкость и геометрическую корректность формируемого на экране изображения.

Оптические условия фототрансформирования обеспечивают получение на экране фототрансформатора резкого изображения.

Аэрофотосъемочные объективы рассчитывают для установки их на «бесконечность» и формирование изображения в главной фокальной плоскости. Так как высота фотографирования многократно превышает гиперфокальное расстояние, то проектирующие лучи после прохождения через объектив всегда дают на негативе резкое изображение. В фототрансформаторе расстояния от объектива до экрана сравнительно малы, и в его конструкции должны быть предусмотрены средства обеспечения резкости в плоскости экрана.

Для получения на экране фототрансформатора резкого изображения необходимо соблюдение двух оптических условий, одно из которых определяет соотношение расстояний до оптически сопряженных точек, а второе – взаимное положение плоскостей негатива, объектива и экрана.

Первое оптическое условие требует, чтобы основная формула оптики оставалась справедливой для пары соответственных точек негатива и экрана, лежащих на главном оптическом луче. Заменяя в формуле фокусное расстояние объектива фотоаппарата f на фокусное расстояние объектива фототрансформатора F , получим

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{D} + \frac{1}{d}, \quad (7.3)$$

где D и d – расстояния вдоль главного оптического луча от главной плоскости объектива до экрана и негатива соответственно.

Положив $D = F + D'$ и $d = F + d'$ и подставив эти значения в (7.3), после несложных преобразований получим формулу Ньютона, используемую в конструкциях многих фотограмметрических приборов для автоматического решения основной формулы оптики:

$$F^2 = D'd'. \quad (7.4)$$

Для выполнения первого оптического условия в фототрансформаторах используют так называемые масштабные инверсоры.

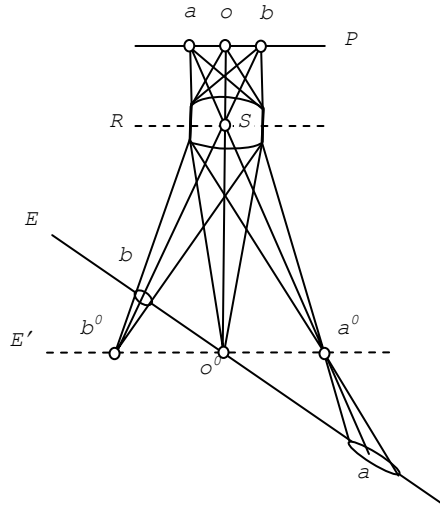


Рис. 7.2. Первое оптическое условие обеспечивает резкость при параллельных плоскостях

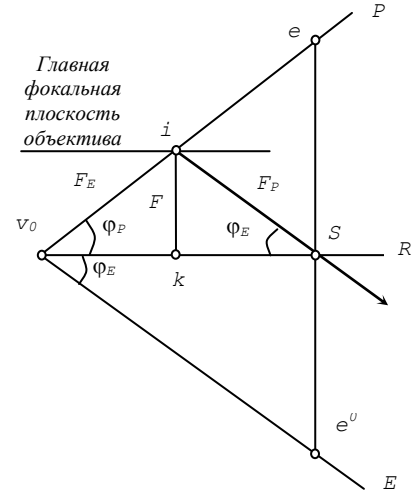


Рис. 7.3. Второе оптическое условие обеспечивает резкость при наклонных плоскостях

Однако выполнение первого оптического условия (7.3) или (7.4) обеспечивает получение резкого изображения в случае, если плоскости негатива (P), объектива (R) и экрана (E) параллельны между собой. В действительности эти плоскости не параллельны, и точки a и b на экране оказываются размытыми (рис. 7.2).

Для получения резкого изображения при наклонных плоскостях необходимо выполнить *второе оптическое условие*, известное в фотограмметрической литературе как условие Чапского (или Шеймпфлюга), согласно которому для *оптического сопряжения двух плоскостей пространства необходимо, чтобы линия их пересечения лежала в главной плоскости объектива R* (рис. 7.3).

Таким образом, для получения на экране E резкого изображения необходимо обеспечить:

- выполнение основной формулы оптики в виде условия (7.3) или (7.4) вдоль главного оптического луча eSe^0 ;
- пересечение плоскости объектива, экрана и негатива по одной прямой, лежащей в главной плоскости объектива.

Для выполнения второго оптического условия в фототрансформаторах применяются так называемые перспективные инверсоры.

Главная точка схода i (рис. 7.3) есть проекция бесконечно удаленных точек предметной плоскости, и в соответствии с законами оптики лежит в главной фокальной плоскости объектива. В этом случае отрезок ik , являющийся кратчайшим расстоянием между главной фокальной плоскостью

и главной плоскостью объектива Sv_0 , есть не что иное как фокусное расстояние F объектива фототрансформатора.

Геометрические условия фототрансформирования обеспечивают получение на экране фототрансформатора геометрически правильного изображения в заданном масштабе $1:M$. Для этого предметная плоскость E (экран) должна быть перемещена в положение E_I (рис. 7.4), при котором высота проектирования SN' окажется равной высоте фотографирования в масштабе плана.

Прежде всего заметим, что при любых преобразованиях изображения отрезки $iS = F_P$ и $iv'_0 = F_E$, называемые *инвариантами трансформирования*, должны оставаться неизменными. Их величины определяются по формулам с учетом масштаба плана:

$$F_P = \frac{f}{\sin \alpha_c}, \quad F_E = \frac{H}{M \sin \alpha_c} = \frac{fK_t}{\sin \alpha_c}, \quad (7.5)$$

где K_t – коэффициент трансформирования, равный отношению знаменателя масштаба аэрофотосъемки к знаменателю масштаба плана.

Углы, составленные плоскостью объектива с плоскостями экрана и негатива, зависят от инвариантов трансформирования и обозначаются φ_P и φ_E (рис. 7.3). Их значения можно найти из прямоугольных треугольников Sik и ikv_0 :

$$\sin \varphi_E = \frac{F}{F_P} = \frac{F \sin \alpha_c}{f}, \quad \sin \varphi_P = \frac{F}{F_E} = \frac{F \sin \alpha_c}{fK_t} = \frac{\sin \varphi_E}{K_t}. \quad (7.6)$$

В фототрансформаторах первого рода геометрические условия связаны с установлением подобия связок проектирующих лучей путем точного определения взаимного положения основных точек центральной проекции (рис. 7.4):

1. Угол между предметной плоскостью (экраном) и каринной плоскостью должен быть равен суммарному углу наклона аэроснимка α_c .
2. Отрезок So , соединяющий центр проекции S с главной точкой снимка o , должен быть перпендикулярен плоскости снимка и равняться его фокусному расстоянию f .
3. Главная точка снимка o должна находиться от главной точки схода i на расстоянии $io = fctg\alpha_c$.
4. Инварианты трансформирования F_P и F_E должны соответствовать значениям, подсчитанным по формулам (7.5).
5. Аэронегатив в кассете прибора должен быть развернут на угол χ' так, чтобы главная вертикаль снимка оказалась совмещенной с главной вертикалью прибора, которая представляет собой линию наибольшего уклона экрана (кассеты).

Нарушение требований 1, 2, 3 и 5 приведет к деформации трансформированного изображения, а требования 4 – к несоответствию полученного масштаба заданному.

Как следует из рис. 7.4, в фототрансформаторах первого рода фокусное расстояние прибора F зависит от фокусного расстояния снимка f , угла его наклона α_c и коэффициента трансформирования K_r . По этой причине фототрансформаторы первого рода не нашли применения на производстве, так как их эксплуатация требует наличия большого набора объективов с различными элементами внутреннего ориентирования, соответствующими условиям аэрофотосъемки и трансформирования снимка.

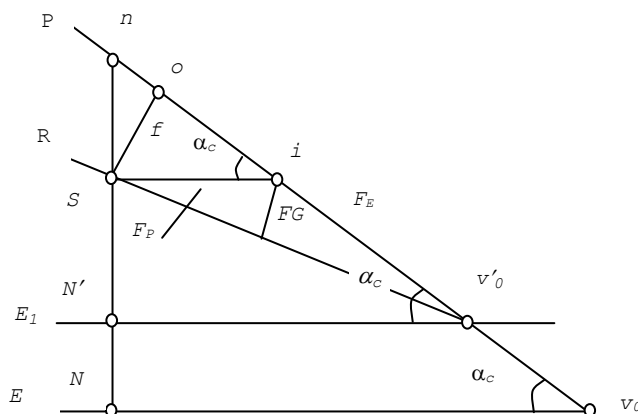


Рис. 7.4. Геометрические условия в фототрансформаторах 1-го рода

В фототрансформаторах второго рода геометрические условия устанавливают взаимное положение основных точек и линий, при которых соблюдены требования теоремы Шаля. В этом случае объектив S перемещается по дуге радиуса iS в положение S' (рис. 7.5), а экран – в положение E' , оставаясь параллельным плоскости действительного горизонта. Тогда геометрические условия сводятся к следующему:

1. Объектив S должен перемещаться в плоскости главного вертикала по дуге радиуса $iS = iS' = F_p$.
2. Плоскость экрана должна быть параллельна плоскости действительного горизонта, т. е. $iS \parallel v_0N$.
3. Инварианты трансформирования F_p и F_E должны соответствовать расчетным по формуле (7.5).
5. Снимок должен быть развернут на угол χ' для совмещения его главной вертикали с линией наибольшего уклона картинной плоскости (экрана), а его центр совмещен с главной точкой картинной плоскости.
6. Главная точка снимка должны совпадать с главной точкой картинной плоскости. Для удовлетворения этого условия главную точку снимка совмещают с центром кассеты, и смещают ее вдоль главной вертикали относительно конструктивной оси прибора на величину децентрации.

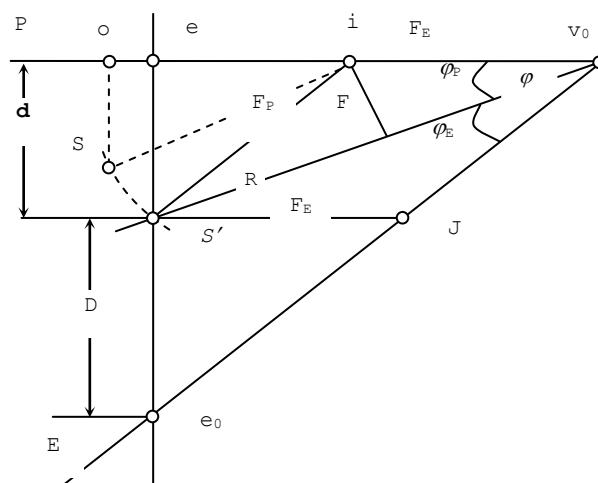


Рис. 7.7. Вторая система

Формулы для расчета удалений объектива от экрана (D) и негатива (d) вдоль конструктивной оси, а также децентрации δ (удаления главной точки картины от конструктивной оси вдоль главной вертикали) можно получить из треугольников $iS'e$ и $JS'e^0$ (рис. 7.7):

$$\left. \begin{aligned} d &= F_P \sin(\varphi_P + \varphi_E), \\ D &= F_E \operatorname{tg}(\varphi_P + \varphi_E), \\ \delta &= oe = oi - ei = F_P [\cos \alpha_c - \cos(\varphi_P + \varphi_E)] \end{aligned} \right\} .(7.9)$$

По ряду причин рассматриваемая система элементов трансформирования широкого распространения не получила.

Третья и четвертая системы элементов трансформирования в конструкциях современных фототрансформаторов не используются.

В ряде случаев конструкция фототрансформатора, вне зависимости от используемой системы элементов трансформирования, предусматривает наклон плоскостей экрана и негатива в двух взаимно перпендикулярных направлениях вместо вращения негатива в своей плоскости. При этом углы наклона φ_E , φ_P и децентрация δ заменяются их проекциями на плоскости XZ и YZ , т. е. двумя углами наклона плоскости экрана ($\varphi_{EX} + \varphi_{PX}$, $\varphi_{EY} + \varphi_{PY}$), негатива (φ_{PX} , φ_{PY}) и децентрациями (δ_X , δ_Y), причем

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{EX} &= \varphi_E \cos \chi', & \varphi_{PX} &= \varphi_P \cos \chi', & \delta_X &= \delta \cos \chi' \\ \varphi_{EY} &= \varphi_E \sin \chi', & \varphi_{PY} &= \varphi_P \sin \chi', & \delta_Y &= \delta \sin \chi' \end{aligned} \right\} .(7.10)$$

Это обстоятельство учитывается при трансформировании снимков по установочным данным.

Фототрансформаторы. При выполнении фотограмметрических работ используется ряд современных приборов отечественного и зарубежного производства, часть которых рассмотрена ниже.

Фототрансформаторы автоматизированные ФТА (рис. 7.8, а) и «Пеленг» (рис. 7.8, б) реализуют первую систему элементов трансформирования и предназначены для трансформирования плановых и перспективных снимков с преобразованными связками проектирующих лучей по опорным точкам или установочным данным.

В качестве дополнительной информации о местности может использоваться цифровая модель рельефа, что обеспечивает возможность обработки снимков любой местности.

Оба прибора снабжены вычислительными устройствами для выполнения оптических и геометрических условий и щелевой установкой, позволяющей выполнять аффинное преобразование изображения путем его поперечного сдвига и сжатия (растяжения) в продольном направлении, что важно при трансформировании снимков местности с однообразным уклоном.

Ширина щели регулируется в зависимости от параметров аэрофотосъемки и рельефа местности.

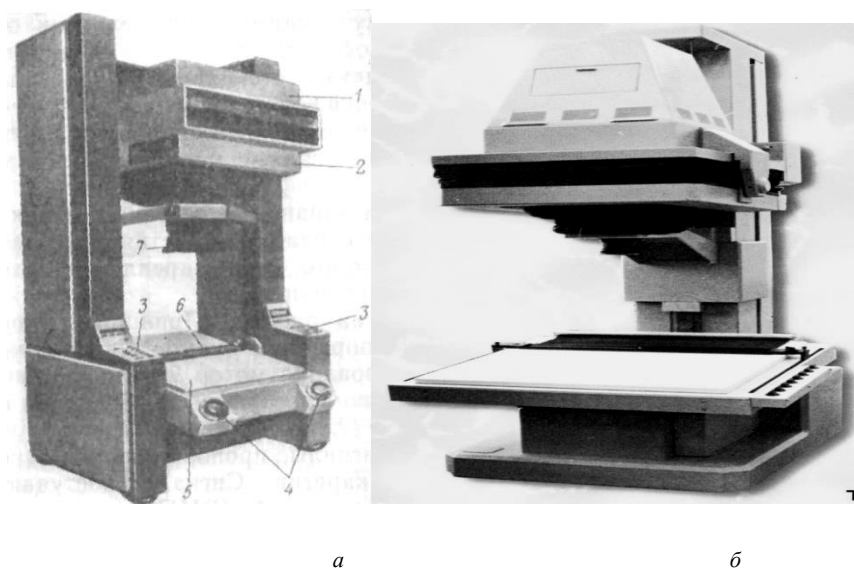


Рис. 7.8. Автоматизированные фототрансформаторы ФТА (а) и «Пеленг» (б)
1 – осветитель; 2 – кассета; 3 – пульт управления; 4 – счетчики коррекционных механизмов; 5 – экран; 6 – подвижная щель; 7 – объектив

Фототрансформаторы Rectimat и Seg-V (рис. 7.9), выпускаемые фирмой «Оптон» (Германия), используют первую систему элементов трансформирования и предназначены для фототрансформирования по опорным точкам или по установочным элементам. Приборы снабжены высококачественными сменными объективами, обеспечивающими возможность получения фотоизображения высокого разрешения. Оптические и геометрические условия выполняются с помощью вычислительных устройств или электромеханических инверсоров; децентрация вводится в

ручную оператором или с помощью специальных вычислительных устройств.

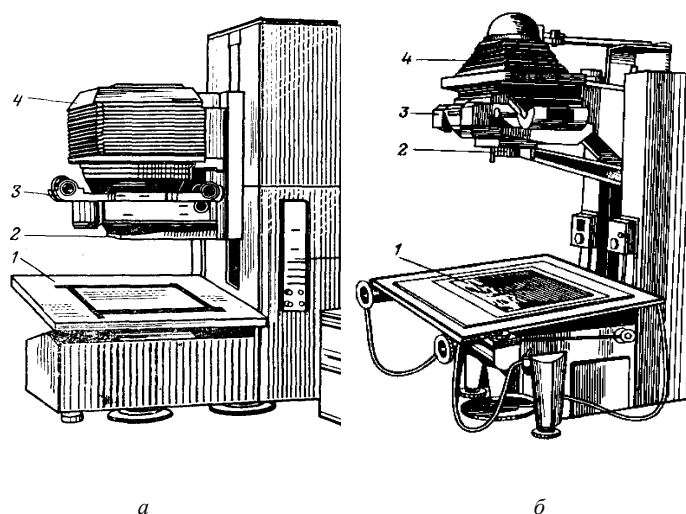


Рис. 7.9. Автоматизированные фототрансформаторы «Rectimat» и «Seg-V»
1 – экран; 2 – объектив; 3 – кассета; 4 – осветительное устройство

В связи с широким распространением цифровых фотограмметрических приборов и рабочих станций на базе ПЭВМ разработка новых конструкций фототрансформаторов перестала быть актуальной.

Вопрос 7.1.4 Трансформирование снимков на фототрансформаторе: трансформирование по опорным точкам, учет рельефа при фототрансформировании

Фототрансформирование снимков может быть выполнено *по установочным данным* или *по опорным точкам*.

Трансформирование снимков по установочным данным. Трансформирование снимков по установочным данным выполняется с помощью наиболее приспособленных для этой цели фототрансформаторов ФТА, Rectimat, Seg-V, Seg-VI и некоторых других.

Для аналитического трансформирования необходимы: элементы внутреннего ориентирования снимка f , x_0 , y_0 ; угловые элементы его внешнего ориентирования α , ω , χ ; средняя высота фотографирования H ; фокусное расстояние фототрансформатора F и масштаб создаваемого плана $1:M$. Элементы внешнего ориентирования аэроснимка определяют по опорным точкам.

По этим данным выполняют расчет элементов трансформирования, используя для этой цели формулы (7.5), (7.6) и (7.7), (7.8) или (7.9), в зависимости от конструкции прибора. Если кассета прибора не имеет вращения в своей плоскости, то для разложения углов наклона φ_P и φ_E по координатным осям используют формулы (7.10).

Далее аэронегатив закладывают в кассету фототрансформатора и точно ориентируют по координатным меткам. На соответствующих шкалах с учетом их мест нулей устанавливают вычисленные значения элементов трансформирования, а аэронегатив разворачивают в своей плоскости на угол $\chi_p = \chi + t$, где χ – угол поворота снимка в первой системе элементов внешнего ориентирования, а t – дирекционный угол оптической оси съемочной камеры (рис. 7.6, 7.7).

После этого включают освещение и полученное на экране трансформированное изображение снимка фиксируют на фотобумаге.

Точность трансформирования снимков по установочным элементам зависит главным образом от точности определения элементов внешнего ориентирования снимков и погрешностей юстировок фототрансформатора.

Трансформирование снимков по опорным точкам.

Трансформирование снимков по опорным точкам и сегодня является одним из наиболее распространенных способов преобразования наклонной центральной проекции в горизонтальную, хотя и требует наличия на каждый снимок не менее четырех четких контурных точек, расположенных по углам его рабочей площади снимка. Обычно используемая пятая контрольная точка располагается в центре снимка. Такие точки, называемые *опорными* или *трансформационными*, определяют в ходе полевых геодезических работ или построения фототриангуляционных сетей. В отдельных случаях их координаты могут быть определены по топографическим картам.

Основными процессами трансформирования являются: изготовление плановой основы и опорных планшетов, подготовка аэронегативов, расчет толщины подложки для учета деформации фотобумаги, собственно фототрансформирование и фотографическая обработка отпечатков. Кратко рассмотрим эти процессы.

Изготовление основы. На лист тонкой авиационной фанеры или алюминия размером 60×60 см наклеивают чертежную бумагу. После просушивания на планшете строят сетку координат, наносят углы рамки съемочной трапеции или границы обработки, сетку координат, трансформационные точки, подписывают номера аэронегативов, вычерчивают границы рабочих площадей и оформляют принятыми на предприятии условными знаками (рис. 7.10).

Опорные планшеты используют для совмещения точек на экране фототрансформатора вместо основы. Их готовят на каждый трансформируемый аэронегатив или на их группу, включающую два-три смежных аэронегатива одного маршрута. С этой целью на лист чертежной бумаги с помощью восковки или на просветном столе переносят центр аэронегатива и необходимые для его трансформирования ориентирующие точки. Точки оформляют принятыми условными знаками, а их наколы чернят тушью или острием карандаша.

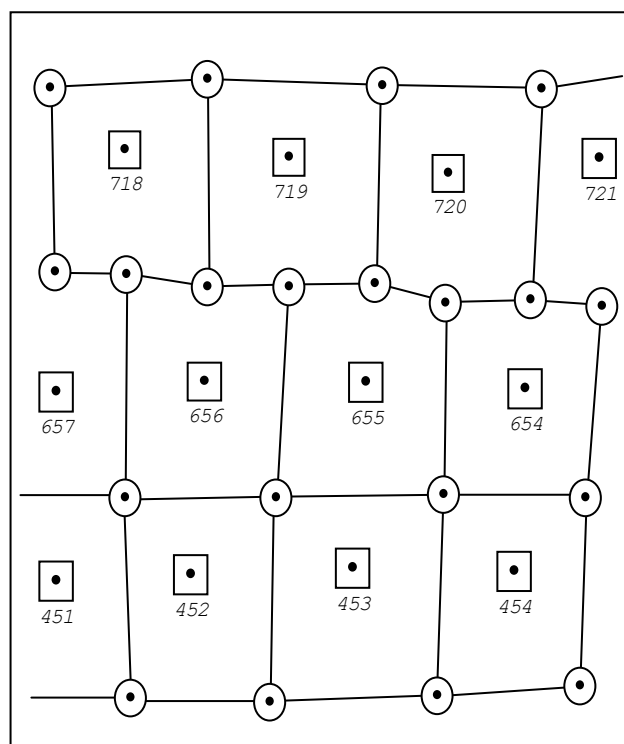


Рис. 7.10. Плановая основа

Подготовка аэронегативов заключается в прочистке наколов центральных и ориентирующих точек, по которым будет выполняться фототрансформирование. Диаметр накола должен быть не более 0,1 мм при трансформировании аэронегатива на увеличение и не более 0,2 мм при трансформировании аэронегатива на уменьшение.

Учет деформации фотобумаги выполняется путем изготовления отпечатка в более крупном масштабе, чем это требуется. С этой целью определяют величину деформации: получают отпечаток с заранее известными размерами элементами изображения и подсчитывают толщину картонной подложки, которую нужно разместить при совмещении точек под опорным планшетиком. При печати изображения подложку и опорный планшетик заменяют фотобумагой, на которой фиксируется изображение в чуть более крупном, чем требуется масштабе. После мокрой фотографической обработки и последующей сушки отпечаток примет нужные размеры.

Собственно *фототрансформирование* начинают с приведения прибора в исходное состояние: экран устанавливают в горизонтальное положение, а на шкалах рабочих движений – начальные отсчеты (места нулей). В кассету укладывают аэронегатив эмульсией к объективу, совмещая его главную точку с центром кассеты, а на экране размещают подложку с уложенным на нее опорным планшетиком. После этого включают освещение и открывают диафрагму объектива.

Техника фототрансформирования зависит от конструкции применяемого фототрансформатора и сводится к совмещению светящихся точек аэронегатива (проектируемого на экран изображения) с зачерненными

точками опорного планшетика. Общие принципы, на которых построена техника совмещения точек аэронегатива и основы, иллюстрируют представленные на рис. 7.11 ситуации:

- рис. 7.11, *а* – наклонить экран (опустить переднюю его часть);
- рис. 7.11, *б* – изменить масштаб изображения;
- рис. 7.11, *в* – наклонить экран вокруг линии, соединяющей совмещенные точки экрана и негатива;
- рис. 7.11, *г* – ввести децентрацию.

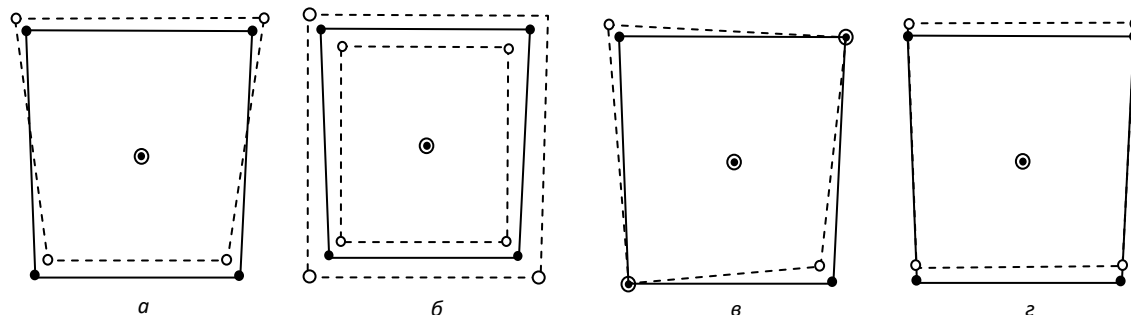


Рис.7.11. Методика совмещения точек при фототрансформировании.

Условные обозначения:

○--- точки аэронегатива;

○---

●--- точки опорного планшетика;

○--- совмещенные точки

○---

Совмещение точек считается достигнутым, если несовпадение проектируемых с аэронегатива опорных точек с их положением на экране не превышает 0,4 мм. После совмещения точек объектив диафрагмируют, закрывают светофильтром, опорный планшетик с подложкой заменяют фотобумагой, выравнивают ее покровным стеклом и выполняют экспонирование.

Фотографическая обработка отпечатков заключается в их проявлении, фиксировании и сушке на специальных стеллажах.

Трансформированные снимки, полученные в результате выполнения рассмотренных операций, используют для монтажа фотоплана.

Учет рельефа при фототрансформировании. Рассмотренная выше технология фототрансформирования является теоретически строгой лишь для точек местности, лежащих в одной плоскости. Практически это условие не выполняется, и положение точек имеющих превышение $\pm h$ над средней плоскостью снимка, получают искажения.

Учет влияния рельефа местности при использовании любого способа трансформирования (в том числе фототрансформирования) основан на очевидном положении, заключающемся в том, что масштаб изображения произвольной точки местности определяется отношением фокусного расстояния съемочной камеры к высоте фотографирования над этой точкой. Поэтому масштаб изображения точек, лежащих выше средней плоскости аэроснимка, всегда крупнее среднего масштаба, а лежащих ниже нее – мельче. Это обстоятельство и объясняет наличие искажений под

влиянием рельефа местности. С учетом изложенного, задача учета влияния рельефа местности при трансформировании сводится к тому, чтобы скорректировать масштабы изображения точек аэронегатива на экране прибора в соответствии с их положением относительно плоскости трансформирования и привести эти масштабы к требуемому.

Механизм учета влияния рельефа местности при фототрансформировании, заключающийся в преобразовании изображения по частям (зонам), предложен австрийским инженером Шеймпфлюгом еще 1903 г. и сводится к следующему.

Пусть рабочей площади аэроснимка соответствует изображенный на рис. 7.12 фрагмент оригинала рельефа топографической карты; отметки самой низкой и самой высокой точек в пределах рабочей площади равны соответственно Z_{min} и Z_{max} , а колебание рельефа $\Delta Z = Z_{min} - Z_{max}$.

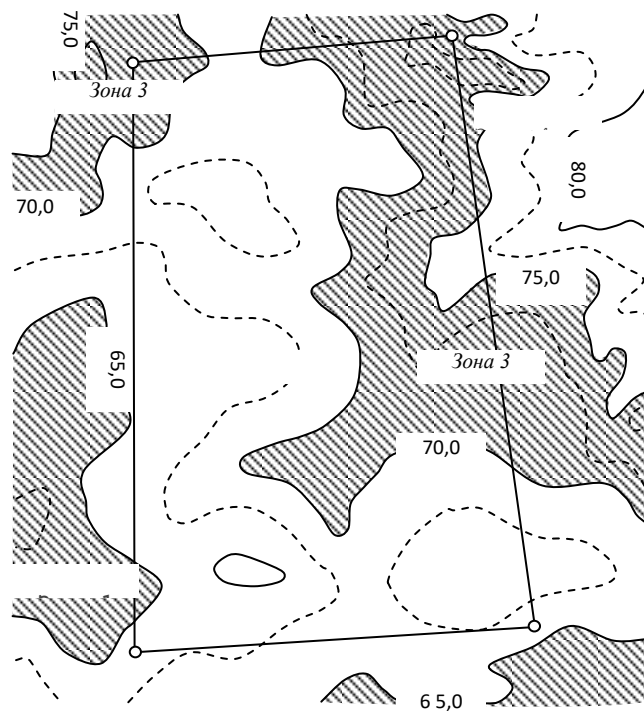


Рис. 7.12. Фрагмент топографической карты, соответствующий рабочей площади снимка

Найдем высоту зоны (ступени) Q , при которой величина искажения, вызванного влиянием рельефа местности, не превысит заданного допуска δ_h :

$$Q = 2h_{\text{пред}} = \frac{2\delta_h fM}{1000r} \quad (7.11)$$

Очевидно, что трансформирование на одну плоскость даст приемлемые по точности результаты только при $\Delta Z < Q$.

Если же $\Delta Z > Q$, то фототрансформирование на одну плоскость даст грубые результаты. Во избежание этого необходимо разделить местность по высоте на несколько зон так, чтобы разности высот в пределах каждой из них

не превышали Q (рис. 7.12, 7.13). Каждую из таких зон необходимо трансформировать отдельно, используя исправленные соответствующим образом трансформационные точки. При этом переход от одной зоны к другой осуществляется путем изменения только масштаба проектирования на величину, пропорциональную высоте зоны. В последующем, при монтаже фотоплана, из каждого отпечатка используют лишь часть изображения, в которой располагается соответствующая зона.

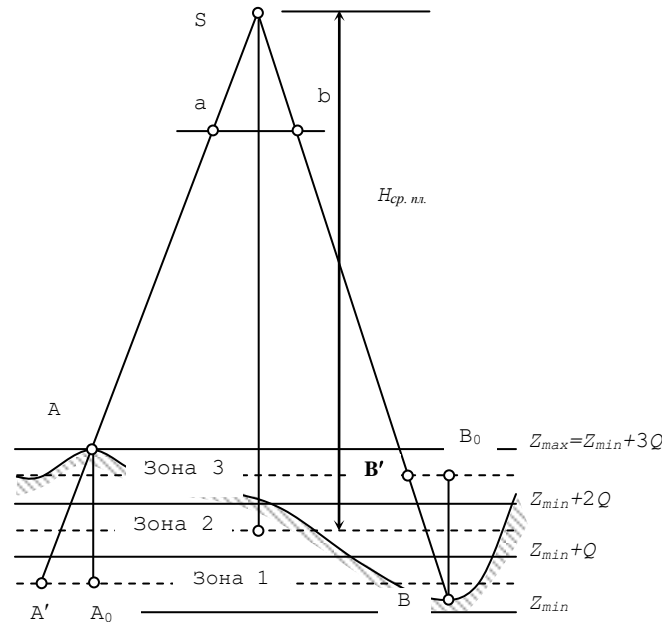


Рис. 7.13. Зоны трансформирования

Для фототрансформирования на средние плоскости зон необходимо соответствующим образом исправить положение точек основы, сместив нанесенные на нее по координатам трансформационные точки A^0, B^0 и др. в положение A', B' (рис. 7.13). При этом величина поправки Δ_h определяется по формуле, вытекающей из рис. 7.13:

$$\Delta_h = \frac{R_i h_i}{H_{\text{абс.}} - Z_{\text{ср.пл.}}}, \quad (7.12)$$

где

$$h_i = Z_i - Z_{\text{ср.пл.}} \quad (7.13)$$

В формулах (7.11) и (7.12):

$Z_{\text{ср.пл.}}, H_{\text{абс.}}$ – отметка средней плоскости зоны и абсолютная высота фотографирования;

Z_i, R_i, h_i – отметка трансформационной точки, ее удаление от центра снимка на основе и – превышение над средней плоскостью зоны.

Положительные поправки Δ_h откладываются от центральной точки снимка, а отрицательные – к центральной.

С учетом изложенного, технология фототрансформирования дополняется следующими операциями:

1. Определение по карте высот опорных (трансформационных) точек Z_i , округление их высот до отметок ближайших горизонталей и расчет колебания рельефа в пределах рабочей площади снимка

$$\Delta Z = Z_{min} - Z_{max}. \quad (7.14)$$

2. Расчет высоты зоны (ступени) Q , ее округление до сечения рельефа (как правило, в сторону уменьшения) и подсчет числа зон

$$N = \Delta Z / Q. \quad (7.15)$$

3. Вычисление отметок средних плоскостей каждой зоны $Z_{cp.пл.}$:

$$Z_{cp.пл.} = Z_{min} + (n - 0,5)Q, \quad (7.16)$$

где n – порядковый номер зоны считая от наименьшей по высоте.

4. Расчет поправок по формулам (7.12), (7.13) и введение их в положение трансформационных точек опорного планшетика для нескольких зон (как правило, первой, средней и последней). Контролем правильности выполненных расчетов является параллельность фигур трансформации, соответствующих расчетным зонам трансформирования (рис. 7.14).

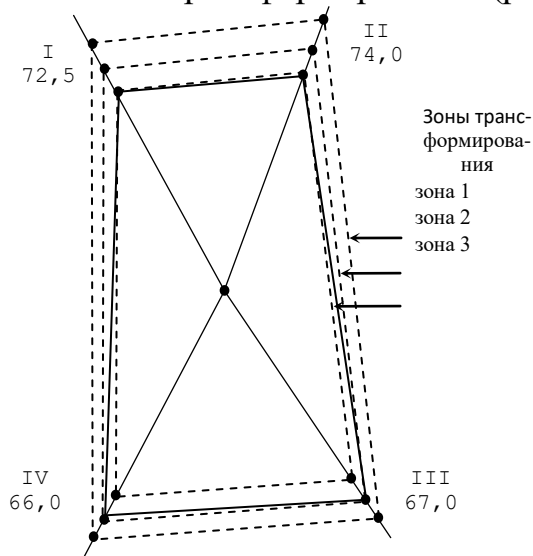


Рис. 7.14. Фигуры трансформирования снимка

Техника совмещения точек при фототрансформировании на первую плоскость первой зоны не отличается от рассмотренной ранее и выполняется с учетом особенностей конструкции фототрансформатора.

Номер зоны, на которую выполнено трансформирование, подписывают на обратной стороне фотоотпечатка.

Изменение масштаба изображения при переходе от одной зоны к другой выполняют по изменению Δl длины какого-либо отрезка, например,

расстояния l между изображениями на экране фототрансформатора противоположных координатных меток. При изменении длины Δl при переходе от зоны i к зоне $i+1$ определяется по формуле

$$\Delta l_{i,i+1} = l_i \frac{Q}{H_i}, \quad (7.17)$$

где Q – высота зоны;

l_i – длина отрезка при трансформировании зоны i ;

H_i – высота фотографирования над средней плоскостью зоны i .

Фототрансформирование по зонам – очень трудоемкий процесс, и потому он применяется при числе зон, не превышающем трех. При необходимости использования большего числа зон применяют метод дифференциального трансформирования (ортотрансформирования).

Вопрос 7.2 Фотопланы и фотосхемы

7.2.1 Понятие о фотосхемах и фотопланах

При работе на значительных территориях, покрываемых несколькими маршрутами, использование отдельных аэроснимков влечет ряд неудобств, таких, как недостаточная обзорность изучаемой территории, невозможность измерения площадей и линий, части которых расположены на разных аэроснимках и т. п.

Это заставляет соединять отдельные аэроснимки в единое целое, удаляя их перекрывающиеся части. При этом объединять можно как трансформированные снимки, свободные от влияния угла наклона и рельефа местности, так и контактные отпечатки, содержащие все названные искажения. В первом случае в результате монтажа будет получена доброкачественная топографическая основа (фотоплан), а во втором – фотосхема.

Фотосхемой называется фотографическое изображение местности, полученное в результате монтажа рабочих площадей контактных или увеличенных нетрансформированных снимков. Фотосхемы можно классифицировать по нескольким признакам.

В зависимости от числа маршрутов фотосхемы делятся на:

Одномаршрутные создаваемые из снимков одного маршрута;

многомаршрутные создаваемые из снимков нескольких маршрутов.

В зависимости от способа монтажа различают фотосхемы, изготовленные по способу *совместной обрезки* (только одномаршрутные) и *индивидуальной обрезки* (одномаршрутные или многомаршрутные).

В зависимости от вида исходных материалов фотосхемы делят на *контактные*, создаваемые из рабочих площадей контактных снимков, масштаб которых равен масштабу снимков, и *приведенные*, создаваемые из

предварительно увеличенных или уменьшенных до одного масштаба снимков.

В зависимости от наличия и использования опорных пунктов различают фотосхемы *свободные*, создаваемые без использования данных о геодезической системе координат изображенной на них местности, и *каркасные*, монтируемые на основе редкой сети опорных точек.

Фотосхемы готовят путем наклейки на основу вырезанных тем или иным способом рабочих площадей снимков, как правило, в границах землепользований или трапезий масштабов 1:10000 – 1:50000. В качестве основы фотосхем используют картон или тонкую фанеру. Область использования фотосхем достаточно широка – от дешифрирования аэроснимков до предварительных изысканий, приближенных количественных оценок и соответствующих измерений в интересах различных отраслей народного хозяйства – землеустройства, лесоустройства, градоустройства, геологии и т. п.

Фотопланом называют одномасштабное фотографическое изображение местности, изготовленное из рабочих частей трансформированных снимков в избранной системе координат и с требуемой точностью.

В зависимости от целевого назначения фотопланы делятся на топографические и специальные.

Топографические фотопланы составляют в общегосударственной разграфке с соблюдением требований действующих инструкций и наставлений по топографической съемке.

Специальные фотопланы составляют, как правило, в произвольной разграфке и с соблюдением требований по точности, оформлению и т. п., регламентируемых ведомственными инструкциями.

Существенным преимуществом фотоплана по сравнению с топографическим планом является высокая информационная емкость и наглядность. В то же время фотографическое изображение контуров отличается от условного их изображения на карте, а отсутствие на фотоплане горизонталей и километровой сетки не позволяет определять по нему координаты и высоты точек. В связи с этим на фотоплане часто показывают соответствующими условными знаками некоторые объекты (населенные пункты, основные дороги и др.), наносят координатную сетку и проводят горизонталы. Такой документ, сочетающий в себе преимущества фотоплана и топографической карты, называют *фотокартой*.

7.2.2 Способы изготовления фотосхем.

Вне зависимости от вида фотосхемы и способа ее монтажа, к линии пореза смежных снимков предъявляется ряд требований, в частности:

- линия пореза должна проходить по однотонным участкам изображения обоих снимков, по возможности минуя населенные пункты, не далее 1–2 см от средней линии перекрытия;
- линия пореза не должна проходить через мелкие контуры во избежание их выреза;
- линейные контуры должны пересекаться линией пореза под углами, близкими к 90° (не менее 30° и не более 150°).

Способ индивидуальной обрезки применяют только для изготовления одномаршрутных фотосхем. Его сущность заключается в выборе на снимках пары идентичных хорошо читаемых точек вблизи средней линии перекрытия, расположенных по обе стороны от оси маршрута (рис. 7.15) и их наколке тонкой иглой. Желательно, чтобы эти точки имели возможно большие превышения относительно средней плоскости, что позволит избежать вырезов контуров при порезе снимков вдоль намеченной линии. Линия, соединяющая выбранные точки, должна отвечать приведенным выше требованиям к линии пореза.

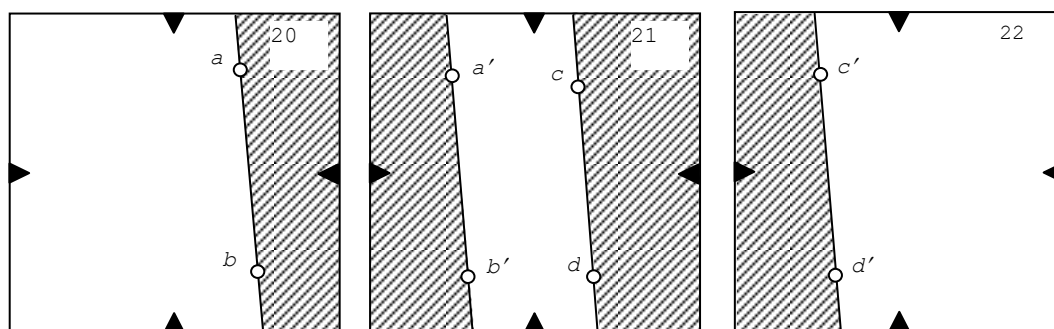


Рис. 7.15. Изготовление фотосхемы способом индивидуальной обрезки

К наколотым точкам прикладывают тонкую металлическую линейку и острым скальпелем разрезают снимки по линиям ab , $a'b'$, cd , $c'd'$ и т. д. (рис. 7.15). Обрезки снимков (на рис. 7.15 они заштрихованы) вдоль каждой линии сохраняют для контроля изготовленной фотосхемы.

Вырезанные центральные части снимков наклеивают на основу. При этом общие точки вдоль линии пореза, как правило, не будут совпадать, поскольку масштаб смежных снимков не одинаков. Поэтому при наклейке рабочей площади каждого последующего снимка ее укладывают таким образом, чтобы совпали элементы ситуации в центральной части снимка.

При *совместной обрезке* снимков предварительно выполняют их монтаж по общим контурам. Совмещение контуров выполняют способом мелькания, путем наложения одного снимка на другой перекрывающимися частями и быстрого и многократного приподнимания верхнего аэроснимка с одновременным его перемещением с целью максимального совмещения общих контуров в средней части перекрытия. Для контроля совмещения на верхнем снимке накалывают несколько точек, отгибают его и оценивают

качество монтажа. При наличии систематических расхождений верхний снимок смещают в нужном направлении. В таком положении снимки закрепляют грузиками и выполняют порез (рис. 7.16) с таким расчетом, чтобы оба снимка оказались прорезанными, а приведенные ранее требования к линии пореза были выполнены. Обрезки снимков подписывают и сохраняют для оценки точности.

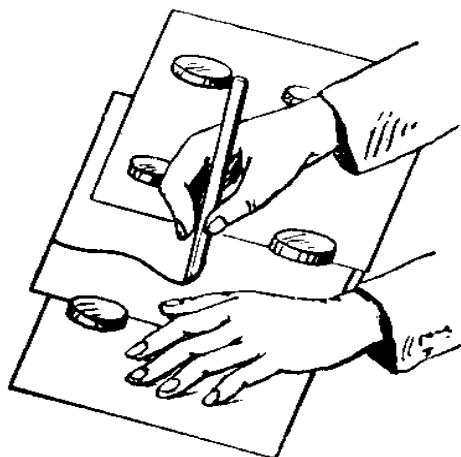


Рис. 7.16. Совместная обрезка снимков

Аналогично выполняют монтаж и обрезку следующих снимков и т. д.

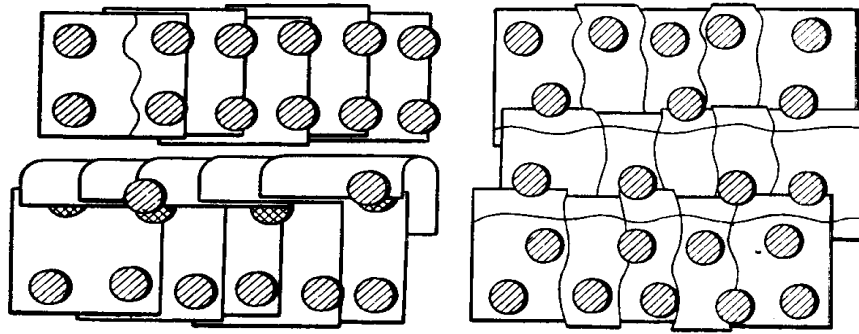
После обрезки всех снимков их наклеивают на основу, точно совмещая линии порезов смежных снимков.

Монтаж *многомаршрутных фотосхем* выполняют способом мельканий и начинают со среднего маршрута. Затем подориентируют к нему снимки верхних и нижних смежных маршрутов, добиваясь максимального совмещения контуров, размещенных в зоне как продольного, так и поперечного перекрытия. Каждый снимок после его укладки закрепляют грузиками.

Обрезку снимков начинают после полного монтажа всех снимков и выполняют по маршрутам. Вначале обрезают снимки маршрутов по средним линиям продольных перекрытий (рис. 7.17, *а*), отгибая и прижимая грузиками смежные маршруты, а затем – по средней линии поперечного перекрытия (рис. 7.17, *б*). Полученные при этом обрезки подписывают и сохраняют для оценки качества фотосхемы.

Вырезанные рабочие площади снимков наклеивают на основу, начиная со среднего аэроснимка среднего маршрута.

Приведенные фотосхемы составляют в том же порядке, что и многомаршрутные фотосхемы, но монтажу снимков предшествует их увеличение с целью приведения к заданному масштабу. Коэффициент увеличения каждого снимка K_i определяют как отношение знаменателя масштаба снимка m_i к знаменателю заданного масштаба M .



аб

Рис. 7.17. Изготовление многомаршрутной фотосхемы

Масштаб снимка можно определить по показаниям радиовысотомера, используя формулу $1/m_i = f/H_i$. При отсутствии показаний радиовысотомера масштаб снимков определяют по топографической карте, путем сравнения длин соответствующих отрезков, измеренных на снимке $l_{сн}$ и на карте l_k . С учетом масштаба карты $1:M_k$ масштаб снимка

$$\frac{1}{m_i} = \left(\frac{l_{сн}}{l_k M_k} \right)_i. \quad (7.18)$$

Заданный масштаб фотосхемы $1:M$ чаще всего выбирают соответствующим стандартным значениям, принятым для топографических карт: 1:5 000, 1:10 000, 1:25 000 и т.д.

Следует иметь в виду, что фотосхемы, составленные из плановых снимков равнинной местности (особенно приведенные фотосхемы) характеризуются постоянством масштаба и малыми искажениями. Так, при среднем угле наклона гиростабилизированных снимков равнинной местности порядка $10'$, максимальное искажение δ_α на краю рабочей площади при $f=150$ мм не превышает 0,2 мм в масштабе снимка, что вполне сопоставимо с точностью фотоплана. Точность таких фотосхем, однако, будет снижаться по мере увеличения колебания рельефа местности.

Оформление фотосхемы включает подпись ее масштаба, номенклатуры трапеции или наименования землепользования, а также названий населенных пунктов, наименования организации, фамилии исполнителя и даты изготовления.

7.2.3 Технология изготовления фотопланов

Работы по изготовлению фотоплана начинают с подготовки основы, в качестве которой используют листы алюминия или авиационной фанеры толщиной 1–2 мм. Основу оклеивают чертежной бумагой, на которую

наносят координатную сетку и опорные пункты, углы рамки трапеции и трансформационные точки.

Далее выполняют подготовку к монтажу фотоплана: подбирают трансформированные снимки, проверяют их фотографическое и метрическое качество, опознают трансформационные точки и пробивают пуансоном отверстия в виде кружков диаметром 1,0 мм. Центры этих отверстий должны точно совпадать с соответствующими точками основы.

Для проверки правильности трансформирования аэроснимок с пробитыми отверстиями укладывается на основу так, чтобы центры отверстий уклонялись от соответствующих точек основы не более чем на 0,5 мм (для равнинных и всхолмленных районов). Если снимки трансформированы по зонам, то проверку выполняют с помощью опорного планшетика, путем совмещения центров пробитых на снимке отверстий с точками соответствующей зоны. При недопустимых расхождениях снимки бракуют и трансформируют заново.

Техника монтажа фотопланов в случае фототрансформирования снимков на одну плоскость и по зонам (на несколько плоскостей) различна и заключается в следующем.

Если местность равнинная и *фототрансформирование выполнено на одну плоскость*, то монтаж фотоплана выполняют в такой последовательности.

На основу последовательно, начиная с северо-западного угла, укладывают трансформированные снимки первого маршрута и ориентируют их, совмещая центры пробитых пуансоном отверстий с точками основы, и прижимают грузиками. При укладке очередного снимка проверяют, как и при монтаже фотосхем, сходимость контуров способом мельканий и делают наколы четких контурных точек. При уклонении точки нижнего (предыдущего) снимка от следа накола более чем на 0,5 мм укладываемый снимок разворачивают, одновременно контролируя совмещение точек основы с центрами пробитых пуансоном отверстий. Уложив снимок, выполняют порез обоих снимков, как и при монтаже фотосхемы по способу совместной обрезки. При монтаже фотоплана линия пореза должна отвечать еще одному требованию: ее удаление от центров пробитых пуансоном отверстий должно быть не менее 5 мм.

После этого снимки первого маршрута закрепляют грузиками и приступают к укладке и порезу снимков смежного маршрута в том же порядке. При этом контроль сходимости контуров выполняют в зонах как продольного, так и поперечного перекрытий. После этого выполняют порез снимков смежных маршрутов по средней линии поперечного перекрытия.

По окончании монтажа фотоплана аэроснимки обрезают вдоль рамок трапеции, сохраняя фотоизображение за рамками в пределах полосы шириной 1 см, а по границам обработки – 2 см. Эти обрезки с нанесенными на них линиями координатной сетки сохраняют для контроля фотоплана.

Если снимки трансформированы по зонам, то прежде всего, на каждом из них исправляют положение трансформационных точек путем

введения в их положение поправок. При этом положительные поправки откладываются по направлению к центру, а отрицательные – от центра. В полученных точках пробивают пуансоном отверстия диаметром 1,0 мм.

Если все отпечатки, полученные с одного аэронегатива при трансформировании его на разные зоны, наложить на основу, то центры пробитых пуансоном отверстий должны совпадать с точками основы.

При монтаже фотоплана вначале по трансформационным точкам укладывают на основу отпечаток первой зоны, а затем – второй зоны и контролируют сходимость контуров вдоль границы зон. Если она удовлетворительна, то выполняют порез снимков по границе первой и второй зон и приклеивают к основе снимок первой зоны. Затем укладывают снимок третьей зоны с контролем сходимости по трансформационным точкам и контурам вдоль границы второй и третьей зон, выполняют порез второго и третьего снимков и т. д.

Особенностью фотопланов, полученных в результате трансформирования по зонам, является вероятность вырезов и дублетов по линиям порезов (границам зон), вызываемых остаточным влиянием рельефа местности. Их величины на краях рабочих площадей снимков могут достигать до 1 мм, что отражается на точности измерений по фотопланам.

Оптический монтаж фотоплана применяют в случаях, когда число зон трансформирования более пяти, и выполняют его в процессе фототрансформирования, непосредственно на фототрансформаторе. Фотобумагу наклеивают на жесткую основу, а поверх ее приклеивают светонепроницаемую бумагу («рубашку») с нанесенным на нее трансформационными точками, положение которых исправлено для каждой зоны. На эту же «рубашку» с топографической карты соответствующего масштаба переносят горизонтالي, ограничивающие зоны трансформирования.

Совместив изображения трансформационных точек с их положением в первой зоне, закрывают объектив светофильтром, выполняют порез «рубашки» по границам первой зоны, отклеивают вырезанные части «рубашки» и производят экспонирование. После этого вырезанные части рубашки, прикрывающие первую зону, возвращают на место, и все операции повторяют для очередной (второй, третьей и т. д.) зоны.

Закончив фототрансформирование всех зон обрабатываемого снимка, в фотолаборатории снимают с основы «рубашку» и выполняют фотографическую обработку, результатом которой является готовый фотоплан.

7.2.4 Контроль качества проявления фотосхем и фотопланов

Работы по изготовлению фотосхем и фотопланов завершаются их контролем, выполняемым с помощью обрезков снимков.

Контроль фотоплана выполняют по трем показателям: по точкам, по порезам и по сводкам со смежными фотопланами. Результаты контроля

отражаются в корректурном листе, на который схематически наносят рамку листа, координатную сетку, линии порезов, трансформационные точки, точки по сводкам, линиям порезов, и выполненные контрольные измерения.

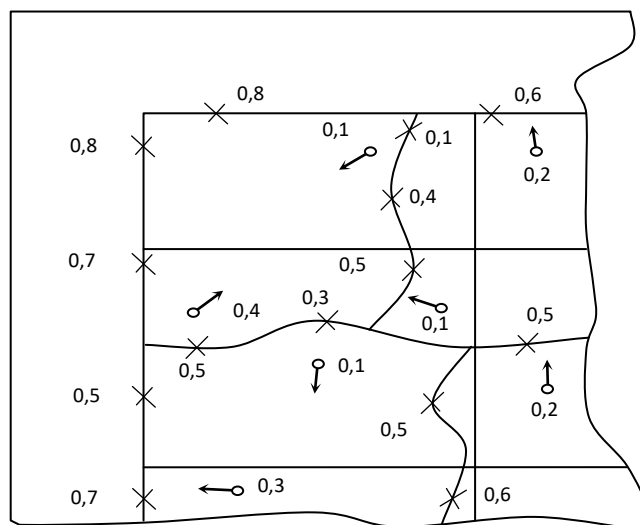


Рис. 7.18. Фрагмент корректурного листа фотоплана

Контроль по точкам заключается в оценке величин и направлений уклонений центров пробитых пуансоном отверстий от соответствующих точек основы. Направление, в котором центр пробитого пуансоном отверстия смещен относительно точки основы, показывают стрелкой и рядом записывают величину этого уклонения, оценивая ее визуально, ориентируясь по диаметру пробитого пуансоном отверстия.

В соответствии с действующими инструкциями величины уклонений точек не должны превышать 0,5 мм в равнинных и всхолмленных районах и 0,7 мм в горных.

Контроль по порезам выполняют с помощью обрезков снимков, полученных при монтаже фотоплана. Обрезок снимка прикладывают к линии пореза так, чтобы он являлся продолжением снимка, от которого он отрезан, и совмещают изображенные на нем контуры с их продолжениями на фотоплане. Через каждые 2–3 см делают наколы четких контурных точек, после чего, убрав обрезок, выполняют оценку уклонений соответствующих точек фотоплана от следов наколов с помощью палетки с миллиметровыми делениями. Величина уклонения, в соответствии с требованиями нормативных документов, не должна превышать 0,7 мм, а в горных районах, при коэффициенте трансформирования более 1,5 и при трансформировании по зонам – 1,0 мм.

Контроль по сводкам со смежными фотопланами выполняют по обрезкам, полученным при обрезке смежного фотоплана по соответствующей рамке. Обрезки совмещают с линиями координатной сетки контролируемого фотоплана и через 2–3 см делают наколы четких контурных точек. Величины уклонений соответствующих точек контролируемого фотоплана от следов наколов измеряют с помощью палетки и заносят в корректурный лист.

Допустимыми считаются уклонения, не превышающие 1,0 мм в равнинных, всхолмленных районах и 1,5 мм в горных.

Контроль фотосхем выполняют только по линиям порезов. Оформляемый при этом корректурный лист не отличается от корректурного листа фотоплана (рис. 7.18), но содержит только схематические линии порезов снимков, положение контрольных точек и величины расхождений их положения.

При контроле одномаршрутных фотосхем, изготовленных способом индивидуальной обрезки, в процессе контроля выявляют наличие дублетов и вырезов по взаимному положению накальваемой точки, следа накола и линии пореза.