



Лекция 6: ПЛОСКОСТНАЯ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИЯ

Вопросы:

6.1 Понятие о фототриангуляции. Графическая фототриангуляция.

6.2 Построение одномаршрутного фототриангуляционного ряда.

6.3 Редуцирование фототриангуляционного ряда.

Литература

1. Назаров, А.С. Фотограмметрия: учебное пособие для студентов вузов / А. С. Назаров. -Мн.: Тетра-Системс, 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.

6.1 Понятие о фототриангуляции. Графическая фототриангуляция.

Перед выполнением аэрофотосъёмки на местности обозначаются опорные точки (опознаки) по четыре на каждый снимок. Планово-высотная привязка этих точек осуществляется геодезическими методами. Но этого количества опорных точек на снимке недостаточно. Поэтому на АФС намечаются дополнительные ориентирующие точки, плановое положение которых определяется в камеральных условиях.

Для этой цели применяют различные способы фотограмметрического сгущения съёмочного геодезического обоснования. К наиболее простому способу планового сгущения относится радиальная плановая фототриангуляция.

Радиальная плановая фототриангуляция называется камеральный метод определения планового положения или плоских координат точек местности путем засечки их изображений из центров перекрывающихся аэроснимков.

В основу метода радиальной плановой фототриангуляции положена практическая неискаженность центральных направлений аэроснимка.

Как известно, направления, проведенные из точки нулевых искажений S не искажаются за угол наклона, а направления, проведенные из точки надир n , не искажаются за рельеф. При плановой аэрофотосъёмке эти точки расположены вблизи главной точки аэроснимка. Поэтому направления, проведенные из главной точки аэроснимка, практически имеют малое искажение, что используется при развитии плановой фототриангуляции.

Покажем на рисунке три аэроснимка, перекрывающихся примерно на 60%, с нанесенными на них центральными точками O_1 , O_2 и O_3 . Нанесем контурными точками 1,2,3,4 через которые проведены из точек O_1 и O_2 и O_3 центральные направления.

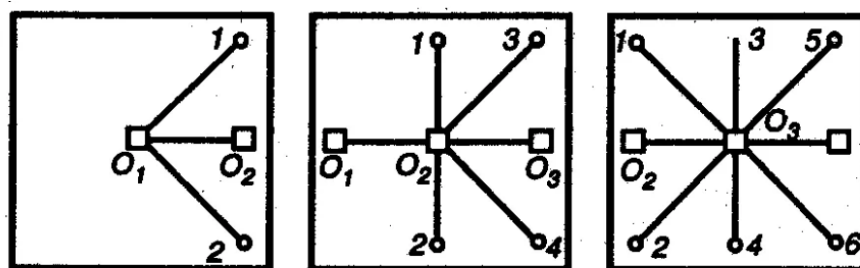


Рис. 6.1 Точки снимков и центральный направления

Если совместить центральные направления $O_1' O_2'$ и $O_2' O_1'$ обоих аэроснимков, которые в отличие от других называются начальными и раздвинуть их, то расстояние между собственными центрами аэроснимков $O_1' O_2''$ можно принять за базис фототриангуляции. Обозначим его величину b_1 . Чем больше будет величина базиса b_1 , тем дальше от него будут располагаться засекаемые точки фототриангуляции 1,2,3,4. Следовательно при каждом значении b будут получаться свои положения фототриангуляционных точек $O_1' O_2''$, 1,2,3,4. Поэтому можно сказать, что положение засеченных точек фототриангуляции получается в принятом масштабе изображения базиса b . Это дает нам возможность при помощи плановой фототриангуляции получать плановое положение точек аэроснимков.

В зависимости от получаемых результатов различают фототриангуляцию:

- а) **радиальную плановую**, если в результате определяют плановое положение или плоские координаты точек местности x и y ;
- б) **пространственную**, когда определяют пространственные координаты точек местности x, y, z .

В данном случае рассматривается только радиальная плановая фототриангуляция, которая по способам измерения направлений и построения делится на графическую и аналитическую.

Графическая радиальная плановая фототриангуляция в виду её малой точности применяется при корректировке и обновлении карт, а также при малых площадях новых съёмок.

При значительных площадях съёмки применяют аналитическую пространственную фототриангуляцию.

Если фототриангуляция имеет вид вытянутой цепочки, состоящей из треугольников или четырехугольников, напоминающих ромб, то она называется ромбическим фототриангуляционным рядом.

Если фототриангуляция состоит из многомаршрутной системы рядов, соединенных между собой общими точками и сторонами, то её называют сетью.

Строятся преимущественно одномаршрутные ряды. Для их построения необходимо иметь тройные продольные перекрытия аэроснимков, позволяющие геометрически связывать между собой отдельные звенья фототриангуляции в один общий ряд. Это связь осуществляется при помощи связующих точек выбираемых на аэроснимках в зонах тройного продольного перекрытия.

Фототриангуляционные ряды строят исходя из выбранного по длине и ориентированию начального базиса. Такая фототриангуляция называется свободной. Для того, чтобы редуцировать её, т.е. привести к заданному масштабу и ориентированию относительно геодезической системы координат, необходимо, чтобы каждый ряд опирался не менее, чем на две геодезические (опорные) точки.

От количества и расположения опорных точек в фототриангуляции, а также от метода её развития будет зависеть и точность получаемых результатов.

В результате фототриангуляционных построений на плановой основе получают положение ориентирующих и центральных точек аэронегативов, необходимых для их трансформирования.

6.2. Построение одномаршрутного фототриангуляционного ряда

Для графического построения фототриангуляционного ряда могут применяться аэронегативы, аэроснимки и увеличенные аэроснимки. В аэрогеодезическом производстве применяют главным образом аэронегативы как наименее деформирующийся материал.

Построение ряда фототриангуляции графическим способом состоит из следующих действий:

- накалывания на аэронегативах точек;
- изготовления восковок направлений;
- укладки восковок для развития ряда;
- редуцирования и его увязки.

Накалывание точек.

Фототриангуляционные точки, накалываемые на аэронегативах, имеют разные назначения:

- 1) центральные точки, обладающие свойством малого искажения исходящих из них направлений, служат вершинами их пучков;
- 2) связующие точки, расположенные по разные стороны от главной точки в каждой зоне тройного перекрытия аэронегативов, служат для установ-

ления геометрической связи между отдельными звеньями фототриангуляции. Расстояния от связующих точек до центров соответствующих аэроснимков желательно выбирать равными расстояниям между центральными точками;

3) ориентирующие (трансформационные точки) точки, располагающиеся примерно в углах рабочих площадей аэронегативов, необходимы для их трансформирования.

4) опорные точки (опознаки), располагающиеся в зонах тройного продольного и в середине поперечного перекрытий, предназначены для редуцирования фототриангуляции.

Выбор и накалывание точек на аэронегативах начинают обычно с собственных центров. При равнинной местности за вершину направлений выгодно принимать главную точку аэрофотоснимка, т.к. её положение легко определить по координатным меткам.

Все точки должны опознаваться однозначно и накалываться на смежных перекрывающихся аэроснимках с ошибкой не более 0,1 мм.

Следовательно эти точки должны быть одновременно и контурными, уверенно опознаваемыми на всех аэронегативах, где должно быть их изображение.

Так как главная точка не является контурной, то взамен главной точки за вершину направлений принимают расположенную в непосредственной близости к ней, контурную точку, наз. рабочим центром.

В случае плановой аэрофотосъёмки рабочий центр можно выбирать в пределах окружности с радиусом $r = f/30$, где f – главное расстояние АФА.

Тогда предельная ошибка центрального направления при $\alpha = 2^\circ$ превысит $5'$.

За рабочие центры и ориентирующие точки нельзя принимать:

1) предметы, высота которых над поверхностью земли

$$h \geq \frac{\delta_h M f}{r}, \quad (6.1)$$

где $\delta_h = 0.1$ мм

r – расстояние от вершины направлений до угла рабочей площади на аэронегативе;

2) движущиеся предметы.

Фиксация направлений. Каждое центральное направление на аэронегативе фиксируется двумя наколами, совмещёнными с контурными точками. Первым наколом – является вершина направлений, а вторым – соответствующая фототриангуляционная точка. Направления на центры смежных аэронегативов называются начальными. Центры должны отождествляться и накалываться на смежных аэронегативах с особой тщательностью. От точности их

отождествления в значительной мере зависит и точность построения фототриангуляции.

Если нет возможности выбрать рабочие центры, то положение начальных направлений определяют так: вместо рабочих центров накалывают главные точки;

– на перекрывающиеся части смежных аэронегативов накладывают прозрачные целлулоидные линейки с прочерченными продольными штрихами; вращая эти линейки вокруг главных точек, последовательно добиваются такого положения, когда штрихи на обоих аэронегативах пройдут через главные точки и одновременно через общие конкретные точки, расположенные на их перекрывающихся частях.

Такое положение штрихов отмечается проколами их a_1 и a_2 на краях аэронегативов. Линии o_1a_1 и o_2a_2 будут начальными направлениями этих аэронегативов.

Выбор, отождествление и накол точек (диаметром 0,1 мм) на аэронегативе проводят на специальном световом столеб, подложив под аэронегатив лист целлулоида, пропускающий свет.

б)изготовление восковок

Пучки направлений, необходимые для построения фототриангуляции проводят не на аэронегативе, а на восковках. Для этого с аэронегативов фототриангуляции копируют наколы на листы восковки. Затем из собственного центра на восковке тушью проводят направления на все фототриангуляционные точки и получают восковку направлений (см. рисунок). Для восковок направлений заранее нарезают квадратные форматки из рулонной восковки. Размер стороны квадрата выбирают с учетом масштаба развития фототриангуляции.

и) укладка восковок

Укладку (монтаж) восковок направлений для построения свободного фототриангуляционного ряда выполняют на восковке, называемой общей восковкой.

Масштаб свободного ряда зависит от величины первого базиса, который обычно выбирают так, чтобы он был близок к заданному масштабу фотоплана. Для этого величину базиса, измеренного на аэроснимке, умножают на коэффициент трансформирования (K_t).

Сначала укладывают на полосе первые две восковки направлений, совмещая их начальные направления и устанавливая расчетную величину первого базиса.

Базис направляют вдоль оси полосы так, чтобы на ней уместился весь фототриангуляционный ряд. При укладке восковок решаются три фотограмметрические засечки – прямая, обратная и комбинированная.

Укладывая первые две восковки с центрами o_1 и o_2 определяют плановое положение опорных, ориентирующих и связующих точек в масштабе первого базиса $O_1 O_2$ по способу прямой засечки.

Положение центра третьей восковки на начальном направлении $O_2 O_3$ определяют по способу комбинированной засечки, состоящему в сочетании обратной засечки с требованием совмещения начальных направлений $O_3 O_2$ и $O_2 O_3$ второй и третьей восковок.

Для этого совмещают начальное направление $O_3 O_2$ третьей восковкой с соответственным начальным направлением $O_2 O_3$ второй, затем перемещают третью восковку поступательно в лево или вправо до тех пор, пока её боковые направления на связующие точки a_2 и b_2 при совмещенных начальных направлениях не пройдут через эти заранее засеченные точки.

По мере укладки восковок на монтажном столе их постоянно закрепляют грузиками. После укладки последней восковки получают свободный фототриангуляционный ряд.

Вследствие накопления погрешностей при выполнении различных операций по развитию фототриангуляционного ряда на связующих точках в процессе укладки восковок могут получаться треугольники погрешностей.

Если стороны треугольника превышают 0,3 мм, то это указывает на допущенные ошибки в ранее выполненных процессах и на необходимость их переделки.

Если стороны треугольника погрешностей получаются менее допустимой величины, то восковку направлений укладывают так, чтобы вместо одного треугольника получались два – на верхней и нижней связующих точках, но меньших размеров. Это будет среднее, наиболее вероятное положение укладываемой восковки.

После укладки восковок направлений перекалывают тонкой иглой на общую восковку собственные центры и засеченные с них опорные и ориентирующие точки свободного фототриангуляционного ряда. Переколотые на общую восковку точки оформляют тушью.

Полученная на общей восковке система точек произвольно ориентирована и расположена в одном, но произвольном масштабе. Для перенесения этой системы точек на планшет следует провести редуцирование её по опорным точкам.

6.3 Редуцирование фототриангуляционного ряда. Точность ряда

Редуцирование свободных фототриангуляционных рядов называется приведение их к заданному масштабу и ориентированию относительно геодезической системы координат.

Редуцирование бывает оптическое, графо-аналитическое, графическое, аналитическое и графо-механическое.

Два первых имеют большее практическое значение.

Рассмотрим **аграфо-аналитическое редуцирование**.

Сущность графо-аналитического редуцирования заключается:

1) определении коэффициента редуцирования по формуле:

$$K = \frac{l_0}{l}; \quad (6.2)$$

где l_0 и l – соответственно измеренные расстояния между опорными точками на плановой основе и на общей восковке.

2) в вычислении и введении поправок в положении всех фототриангуляционных точек на восковке по направлению радиусов, исходящих из средней точки сети, принятой за полюс.

После редуцирования общую восковку накладывают на плановую основу, совмещают редуцированное положение опорных точек с их положением на основе и перекальвают на неё редуцированное положение всех остальных точек фототриангуляции.

а) определение коэффициента редуцирования.

На плановой основе имеется положение четырех опорных точек a_0, b_0, c_0, d_0 – сеть фототриангуляции с включенными в неё теми же опорными точками a, b, c, d . По измеренным расстояниям между любой парой опорных точек на плане и соответственно на восковке можно вычислить коэффициенты редуцирования по формулам

$$K_1 = \frac{a_0 b_0}{ab}; \quad K_2 = \frac{b_0 c_0}{bc}; \quad \text{и т.д.} \quad (6.3)$$

Значения коэффициентов редуцирования вычисляются с точностью до 0,001. По четырем парам соответственных точек на плане и на восковке можно сделать шесть пар измерений и вычислить шесть частных значений коэффициентов редуцирования. За окончательный результат определения следует принять среднее арифметическое значение из частных определений, т.е.

$$K = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{n} \quad (6.4)$$

Отклонения частных коэффициентов редуцирования от среднего значения не должно превышать 0,003.

Для редуцирования фототриангуляционной сети одно из центральных точек её, расположенную на восковке в середине сети, принимают за полюс и проводят из неё карандашом радиальные лучи на все точки сети. Затем измеряют длины лучей (радиусов) r от полюса до каждой точки и вычисляют их редуцированное значение по формуле

$$r_0 = Kr \quad (6.5)$$

Для упрощения вычислений и графических построений определяют и откладывают не редуцированное значение радиусов, а значение поправок в положение точек сети, вводимых согласно их знакам, по направлению радиусов.

Для вывода формулы поправки вычтем из левой и правой частей формулы значения r и получим

$$r_0 - r = Kr - r \quad (6.6)$$

Разность $r_0 - r = V$ – есть поправка в положение точки сети на восковке. Вынося в правой части формулы r за скобки, получим

$$V = r(K-1) \quad (6.7)$$

Если коэффициент редуцирования получится больше 1, то поправки будут иметь положительный знак и поэтому точки сети надо сдвигать наружу, т.е. удлинять радиусы, при отрицательных знаках поправок – наоборот.

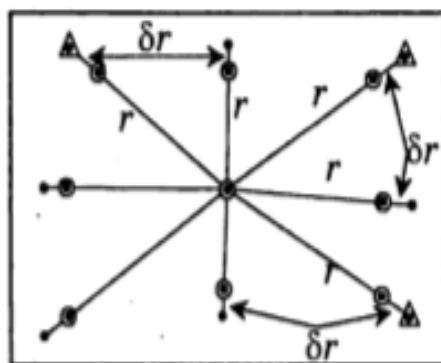


Рис. 6.1 Графо-аналитическое редуцирование

Для перенесения на план редуцированной сети восковку накладывают на основу и совмещают редуцированное значение опорных точек с их положением на плане.

Вследствие погрешностей измерений и построений точного совмещения соответственных точек восковки и плана получить не удастся. Поэтому путем сдвигов и поворотов восковки находят её среднее положение, при котором величины этих несовмещений будут не более 0,5 мм. При таком положении восковки перекалывают на плановую основу все точки фототриангуляции, за исключением опорных точек.

Точность фототриангуляционного ряда, редуцированного и увязанного между расположенными на его концах опорными точками, характеризуется величиной средней квадратической ошибки в положении ориентирующей точки в его середине. Величина этой ошибки m может быть предвычислена по формуле Г.П. Жукова, которая имеет вид

$$m = \pm 0.35 K_t b \frac{m_\varepsilon}{\rho'} \sqrt{n^3 + 11n + 34}, \quad (6.8)$$

где m – величина ошибки положения ориентирующей точки, расположенной в середине ряда (в мм) в масштабе плана;

K_t – коэффициент трансформирования;

b – средняя длина базиса на аэроснимках, мм;

m_ε – суммарная ошибка центрального направления в минутах;

n – число базисов между крайними опорными точками;

$\rho' = 3438'$.

Пользуясь этой формулой можно рассчитать допустимую длину фототриангуляционного ряда между крайними опорными точками.

Например: $m = 0.35$ мм, $K = 1,7$, $b = 60$ мм, $m_\varepsilon = 4'$ получим допустимую длину ряда около четырех базисов. Решение уравнения выполнено методом подбора, чтобы левая часть была равна правой.