



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Высшая геодезия и фотограмметрия»

**Методические указания**  
к выполнению курсовой работы на тему

**«Составление проекта плановой  
подготовки аэроснимков и  
построение сети графической  
фототриангуляции»**

для обучающихся по специальности 21.05.01  
«Прикладная геодезия», специализация  
«Инженерная геодезия»

Автор  
Самсонова Н.В.

Ростов-на-Дону, 2017

## Аннотация

Методические указания предназначены для обучающихся по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия», специализация «Инженерная геодезия».

## Автор



к.э.н., зав. кафедрой «ВГиФ» Самсонова Н.В.





## Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>4</b>
<b>Составление проекта плановой подготовки и построение сети графической фототриангуляции .....</b>	<b>5</b>
Цель работы.....	5
Исходные данные .....	5
Содержание задания .....	5
Привязка аэроснимков .....	6
Графическая фототриангуляция.....	10
<b>Литература .....</b>	<b>16</b>
<b>Приложение 1 Каталог координат плановых опорных точек.....</b>	<b>17</b>

## ВВЕДЕНИЕ

*Привязка аэроснимков заключается в опознавании на них контурных точек местности и геодезическом определении координат этих точек.*

Если определяют плоские координаты  $X$ ,  $Y$  точек местности, то такую привязку называют *плановой*. При определении только высот  $Z$  – привязку называют *высотной*, а при определении всех трёх координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  – *планово-высотной*.

Плановую привязку производят для изготовления контурных планов, а высотную и планово-высотную – для изготовления топографических карт и планов.

Плановая привязка делится на *сплошную*, используемую непосредственно для трансформирования, и *разреженную* – для редуцирования плановой фототриангуляции. При сплошной привязке на каждый аэроснимок определяют четыре опорные точки, расположенные по углам рабочей площади. В случае разреженной привязки каждую секцию маршрута из нескольких аэроснимков обеспечивают тремя-четырьмя опорными точками. Обычно применяют экономически более выгодную разреженную привязку.

## СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА ПЛАНОВОЙ ПОДГОТОВКИ И ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ ГРАФИЧЕСКОЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ

### Цель работы

Изучить и освоить комплекс работ по плановой привязке аэроснимков, разметке зон расположения опорных точек, выбору и оформлению на аэроснимках и местности этих точек, геодезическому определению их координат. Овладеть графическим способом фототриангуляционного сгущения сети для определения трансформационных точек на каждом аэроснимке.

### Исходные данные

1. Аэроснимки из трёх смежных маршрутов.
2. Репродукция накидного монтажа.
3. Топографическая карта местности.
4. Фокусное расстояние  $f$  АФА; высота фотографирования  $H$ ; масштаб фотоплана  $1/M$ .
5. Аэроснимки полевой подготовки, полученные из части 1 курсовой работы.
6. Плановая основа с нанесёнными по координатам опорными точками.
7. Листы восковки квадратной формы. Их размер зависит от принятого масштаба построения ряда, количество – от числа аэроснимков.
8. Один лист восковки прямоугольной формы, по размеру плановой основы.

### Содержание задания

#### Задание 1.

1. По формуле Жукова (1) рассчитать допустимую длину ряда фототриангуляции (в базисах) между опорными точками.
2. Составить накидной монтаж из аэроснимков.
3. В соответствии с характером местности выбрать наиболее выгодный в техническом и экономическом отношении способ геодезического определения опорных точек и соответствующую схему их размещения.
4. Наметить на аэроснимках мягким карандашом расположение зон в виде окружностей диаметром 2 см. Внутри каждой зоны должны быть 2 – 3 контурные точки.
5. Перенести эти зоны на репродукцию накидного монтажа, отметив их красной тушью диаметром 5 мм.
6. Выбрать, наколоть и подписать опорные точки для каждого маршрута; составить абрисы двух опорных точек с соответствующим оформлением их на лицевой и обратной сторонах.
7. По исходной карте местности определить плановые координаты всех опорных точек и занести их в каталог координат (прил. 1).

#### Задание 2. Построение фототриангуляционного ряда графическим способом

1. Последовательно разложить аэроснимки одного маршрута.
2. Наколоть на аэроснимках опорные точки в соответствии с наколами и абрисами.

сами на аэроснимках полевой подготовки, а также рабочие центры, связующие и ориентирующие точки и оформить их соответствующими условными знаками (см. рис. 3).

3. Изготовить восковки направлений. Для этого лист восковки укладывают под аэроснимок и перекалывают на него все фототриангуляционные точки, наколотые на аэроснимке, обозначая их условными знаками (см. рис. 3). Затем на восковке прочерчивают синей тушью все центральные направления (см. рис. 4).

4. Построить на общей восковке при помощи восковок направлений фототриангуляционный ряд. На общую восковку переколоть рабочие центры и в пересечении соответствующих направлений – опорные и ориентирующие точки, обводя их тушью кружками радиусом 2 мм.

5. Редуцировать фототриангуляционный ряд применяя графоаналитический способ редуцирования.

6. Обвести на основе точки фототриангуляции красной тушью кружком диаметром 0.8 мм.

### Привязка аэроснимков

#### Разметка зон расположения опорных точек

При разреженной плановой привязке опорные точки должны располагаться в определённом порядке, обеспечивающем необходимую точность фототриангулирования. Так как надёжный выбор этих точек возможен лишь при сличении снимков с местностью, до выхода в поле на них производят разметку зон, в пределах которых должны выбираться опорные точки. Зона представляет собой кружок диаметром 2 – 3 см; к её размещению предъявляют следующие требования:

1. В пределах зоны должно быть несколько контурных точек. Это позволит в процессе полевых работ выбрать наиболее подходящих из них в качестве опорной.

2. Расстояние между опорными точками вдоль маршрута должно обеспечивать построение фототриангуляции с нужной точностью. Это расстояние, выражаемое количеством базисов, вычисляется по формуле Жукова (в случае использования графической фототриангуляции)

$$m = 0.25K_t b \frac{m_\varepsilon}{\rho'} \sqrt{n^3 + 11n + 34}, \quad (1)$$

где  $K_t$  – коэффициент трансформирования;

$b$  – средняя длина базиса на аэроснимках, мм;

$m_\varepsilon$  – средняя квадратическая ошибка центрального направления (при графической фототриангуляции равна 4 – 5');

$n$  – число базисов между крайними опорными точками;  $\rho = 3438'$ .

3. Зоны следует располагать на поперечных перекрытиях аэроснимков, что уменьшает количество опорных точек и повышает точность фототриангуляции.

При разметке зон используют аэроснимки, репродукции накидного монтажа с рамками трапеций, топографическую карту с пунктами геодезического обоснования. Выбранные зоны наносят на аэроснимки и на репродукции накидного монтажа.

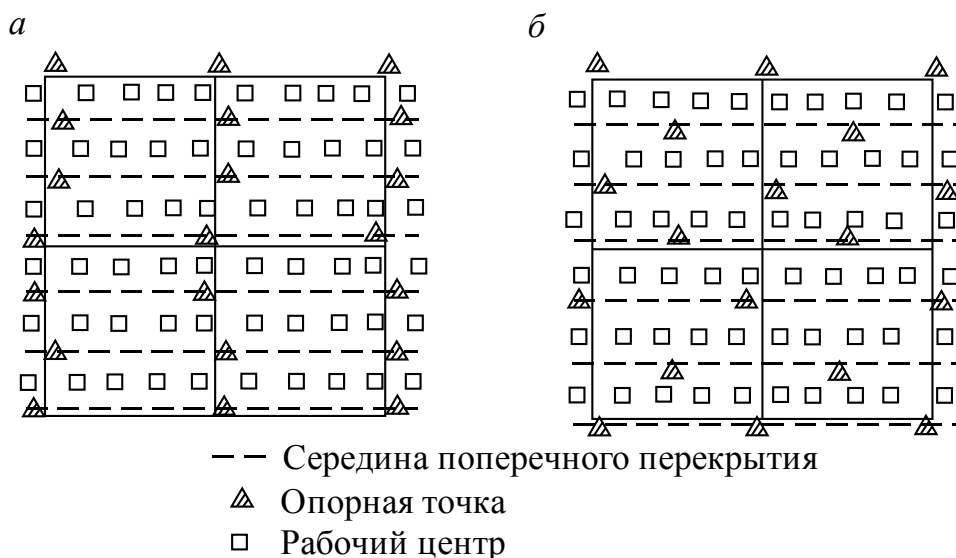


Рис. 1 Схема размещения опорных точек маршрута:

*а* – в залесённых равнинных районах; *б* – в открытых всхолмлённых районах

### Выбор и оформление опорной точки на снимке и на местности

Пользуясь репродукцией накидного монтажа и аэроснимками с нанесёнными зонами привязки, находят на местности расположение данной зоны. Сличая аэроснимки с местностью, выбирают в пределах зоны опорную точку, удовлетворяющую следующим требованиям:

1. Опорная точка должна являться контурной точкой, однозначно опознающейся на местности и на всех аэроснимках, на которые она попадает.
2. Опорная точка должна быть удобной для проведения геодезических измерений.
3. Высота объекта, используемого в качестве опорной точки, не должна вызывать смещения за рельеф на аэроснимке более 0.1 мм.

В качестве опорной точки выбирают чёткие контурные точки, которыми могут служить углы изгородей, перекрёстки дорог, отдельные кусты, камни и т.д.

После выбора опорной точки её накалывают точкой иглой только на одном снимке. На его обратной стороне обводят накол и рядом подписывают номер опорной точки, совпадающий с номером аэроснимка. В стороне от накола составляют абрис опорной точки, рядом с абрисом производят необходимую запись (рис. 2). На лицевой стороне аэроснимка опорную точку обводят красным кружком диаметром 1 см и тем же цветом подписывают её номер. На местности опорную точку закрепляют колом, окапывают канавой и маркируют.



Рис. 2. Оформление опорной точки на аэрофотоснимке

В случае малого количества чётких контуров (степные, лесные районы) до аэро-съемки на местности размещают маркировочные знаки в виде креста, четырёхугольника и др. Материал, применяемый для маркировки (мел, известняк и др.), должен контрастировать с окружающим фоном.

### Определение координат опорных точек

После выбора опорной точки приступают к определению её геодезических координат, используя для этого заранее отрекогносцированные пункты геодезического обоснования. Плановая привязка снимков в закрытой местности выполняется теодолитными ходами (приёмниками GNSS), образующими системы замкнутых полигонов или ходов с узловыми точками, а в открытой – с помощью прямых, обратных и комбинированных засечек (рис. 3, а, б, в).



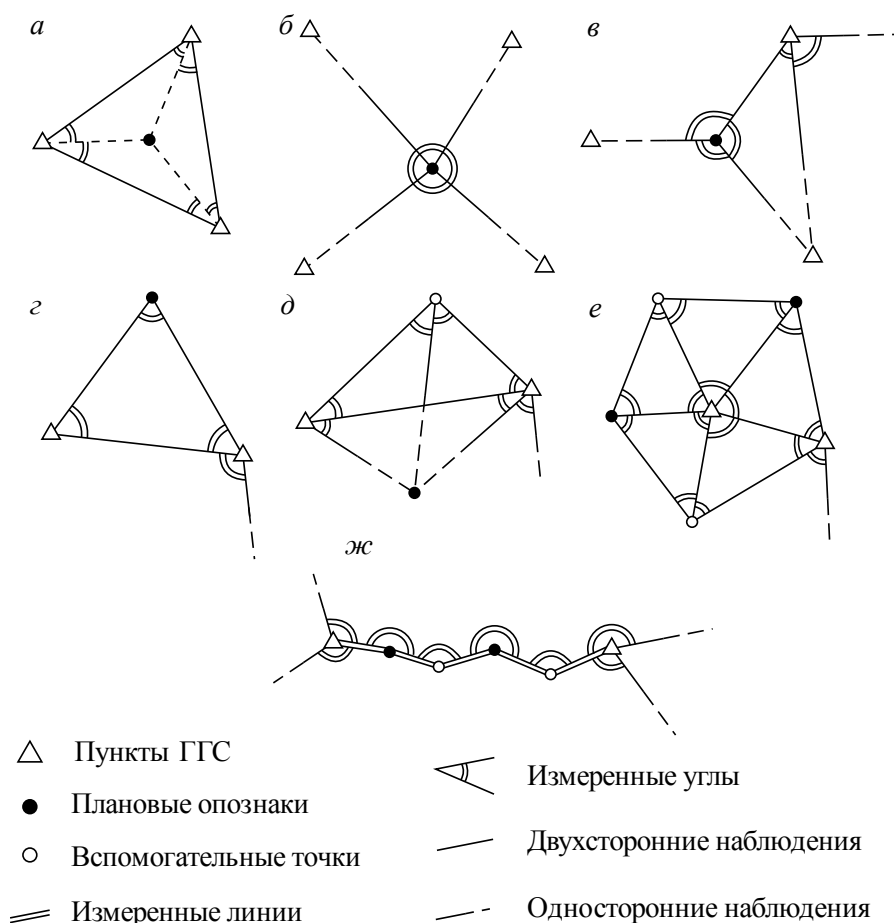


Рис. 3. Схемы определения геодезических координат опорных точек

Спутниковые геодезические системы эффективны при наличии хороших условий приёма спутниковых сигналов. Они не универсальны. Невозможно гарантировать надёжную работу в залесённых или застроенных районах.

Прямую засечку опорной точки выполняют не менее чем с трёх пунктов триангуляции; обратную засечку – не менее чем по четырём пунктам и комбинированную – по трём пунктам.

Способ триангуляции в виде вставок между существующими пунктами триангуляции систем треугольников (рис. 3, г), геодезических четырёхугольников (рис. 3, д). Полярный способ (рис. 3, е). Полигонометрический способ, осуществляемый проложением теодолитных ходов между пунктами триангуляции (рис. 3, ж). Опорные точки включают в число станций теодолитного хода.

В открытой равнинно-пересечённой местности применяют способы засечек, триангуляции и полярный, в равнинной закрытой местности – полигонометрический способ. Полярный способ используют в случаях расположения опорных точек в непосредственной близости к пунктам геодезического обоснования.

Иногда полевую привязку выполнить невозможно, либо экономически нецелесообразно. В этом случае материалы съёмки могут быть привязаны по существующим картам и планам.

После завершения привязки в камеральное производство для дальнейшей

обработки передают аэроснимки полевой подготовки с наколами и абрисами опорных точек, а также их геодезические координаты.

### Графическая фототриангуляция

*Фототриангуляцией* называется камеральное фотограмметрическое сгущение съёмочного геодезического обоснования, производимое по аэроснимкам. В результате такого сгущения получают координаты точек местности, используемых в качестве опоры при создании по снимкам карт и планов. В зависимости от решаемой задачи применяют пространственную и плановую фототриангуляцию.

*Пространственная фототриангуляция* позволяет определять все три координаты точек местности, используемых в качестве опоры при составлении топографических карт.

*Плановую фототриангуляцию* применяют для нахождения планового положения ориентирующих и центральных точек аэроснимков с целью трансформирования этих снимков и изготовления фотопланов.

Существуют различные способы планового фотограмметрического сгущения. Самый точный из них – аналитический – соответствует по своему построению пространственной фототриангуляции. Наиболее простым является способ радиальной фототриангуляции, в частности, её графический вариант.

*Радиальная фототриангуляция* основана на малой искажаемости центральных направлений, проведённых из главной точки планового аэроснимка или из точки, близкой к ней. Такие направления практически равны соответственным направлениям на плоской или всхолмлённой местности. Это позволяет определять плановое положение точек с помощью центральных направлений аэроснимков при радиальном фототриангулировании.

Графическую фототриангуляцию, как правило, строят по аэроснимкам маршрута с обязательным продольным перекрытием порядка 60%, при котором между аэроснимками также имеются тройные перекрытия. Такое построение называют *одно-маршрутным фототриангуляционным рядом*.

Построение ряда производят с помощью восковок направлений, на каждую из которых скопированы центральные направления соответствующего аэроснимка, проходящие через наколотые на нём точки.

При наличии достаточного перекрытия центральные точки аэроснимков могут быть фиксированы и на краях смежных снимков. Направление из центральной точки данного снимка на центральную точку соседнего аэроснимка называется *начальным*.

При укладке восковок направлений в процессе построения фототриангуляционного ряда совмещают их соответствующие начальные направления, что обеспечивает правильную ориентировку этих восковок. Для правильного размещения центральных точек восковок вдоль указанных направлений и получения ряда в одном масштабе используют связующие точки, расположенные на тройных перекрытиях аэроснимков.

Если этот масштаб не равен масштабу создаваемого фотоплана, то построенный фототриангуляционный ряд называют *свободным*. Для приведения такого ряда к заданному масштабу и правильного его размещения относительно основы, на которой будет составлен фотоплан, производят *редуцирование*. При редуцировании ис-

пользуют опорные точки, являющиеся контурными точками аэрофотоснимков, координаты которых определены на местности. Эти точки включают в фототриангуляцию, а также наносят по координатам на основу. Для редуцирования ряда необходимо как минимум две такие точки.

После редуцирования рядов, попадающих на данную основу, производят увязку и получают окончательное положение ориентирующих и центральных точек на основе.

Таким образом, при графическом фототриангулировании с использованием свободных рядов необходимо выполнить комплекс специальных процессов.

### Графическое построение одномаршрутного ряда фототриангуляции

*Наколка точек аэроснимков.* Для построения фототриангуляционного ряда на аэроснимках накалывают следующие точки (рис. 4):

1. Центральные точки – обычно выбираются вблизи главных точек аэроснимков в качестве вершин их центральных направлений.
2. Связующие точки – располагаются на всех продольных тройных перекрытиях аэроснимков на расстоянии 2-3 см от их верхнего и нижнего краёв. Они необходимы для построения фототриангуляционного ряда.
3. Ориентирующие точки – размещаются по углам рабочих площадей аэроснимков. Эти точки, как и центральные, используются при последующем трансформировании аэроснимков.
4. Опорные точки – располагаются на середине поперечных перекрытий и переносятся с аэроснимков полевой подготовки. Они необходимы для редуцирования фототриангуляции.
- 5.

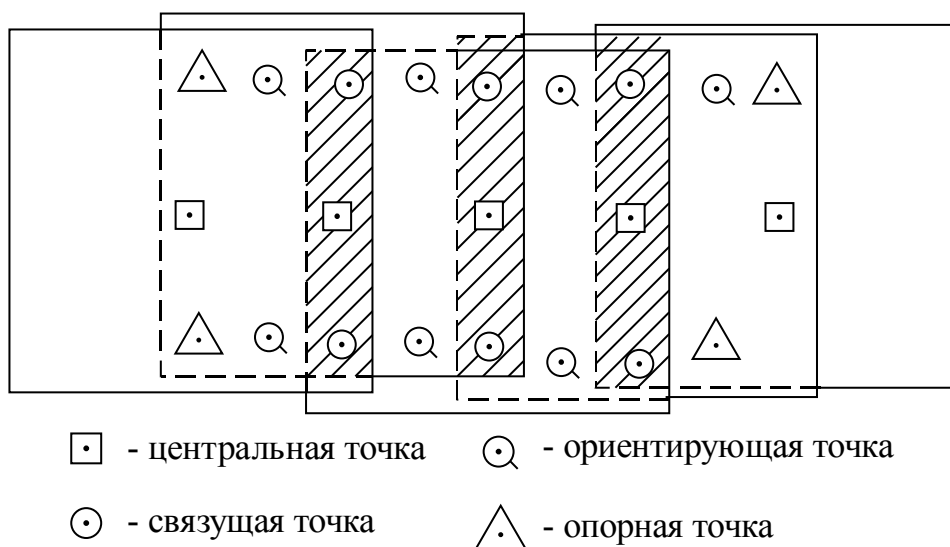


Рис. 4. Точки, накалываемые на аэроснимках для построения графического фототриангуляционного ряда

Каждую из указанных точек накалывают на всех аэроснимках, на какие она попадает. Поэтому фототриангуляционные точки должны быть чёткими, опознающимися

без сомнения на смежных аэроснимках контурными точками. Кроме того, чтобы не вносить дополнительные смещения за рельеф, мешающие трансформированию аэроснимков, ориентирующие точки не следует совмещать с изображениями высоких предметов – деревьями, углами домов и др.

В качестве центральной точки аэроснимка выбирают контурную точку, удалённую от его главной точки на расстояние не более чем  $r = f/30$ , где  $f$  – фокусное расстояние АФА. Такая точка называется *рабочим центром*. Ошибка направлений, идущих из этой точки, на плановом снимке равнинной или всхолмлённой местности обычно не превышает  $5'$ , что обеспечивает точность графической фототриангуляции. Рабочие центры, собственные и переколотые с соседних аэроснимков, фиксируют на них начальные направления.

Если нельзя найти рабочие центры, в качестве центральных точек принимают главные точки аэроснимков. Однако, поскольку они не являются контурными точками, переколоть их на соседние аэроснимки непосредственным образом невозможно. В этом случае для нахождения начальных направлений на перекрывающиеся аэроснимки укладывают прозрачные линейки со штрихами. Поворачивая штрихи вокруг главных точек этих аэроснимков, добиваются совмещения штрихов с идентичными контурными точками (рис. 5). Накалывая штрихи на края аэроснимков, фиксируют таким образом начальные направления.

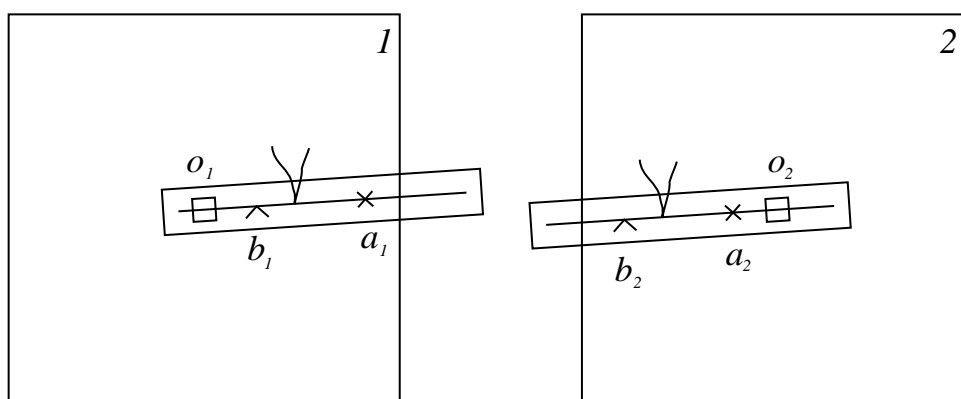


Рис. 5. Нахождение начальных направлений, идущих из главных точек аэроснимков

Все точки, наколотые на аэроснимках, оформляют соответствующими условными знаками (см. рис. 4).

*Изготовление восковок направлений* заключается в переколке с каждого аэроснимка наколотых на нём точек на отдельный лист восковки и в прочерчивании на этом листе направлений из центральной точки на все остальные. Оформление восковки направлений показано на рис. 6.

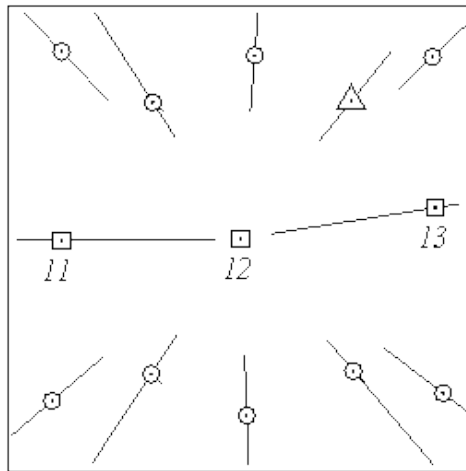


Рис. 6. Восковка направлений

Построение фототриангуляционного ряда производят путём соответствующей укладки восковок направлений на общую восковку.

Построение начинают с укладки самых левых восковок направлений ряда, начальные направления которых совмещают ( $o_1o_2$  и  $o_2o_1$  на рис. 7).

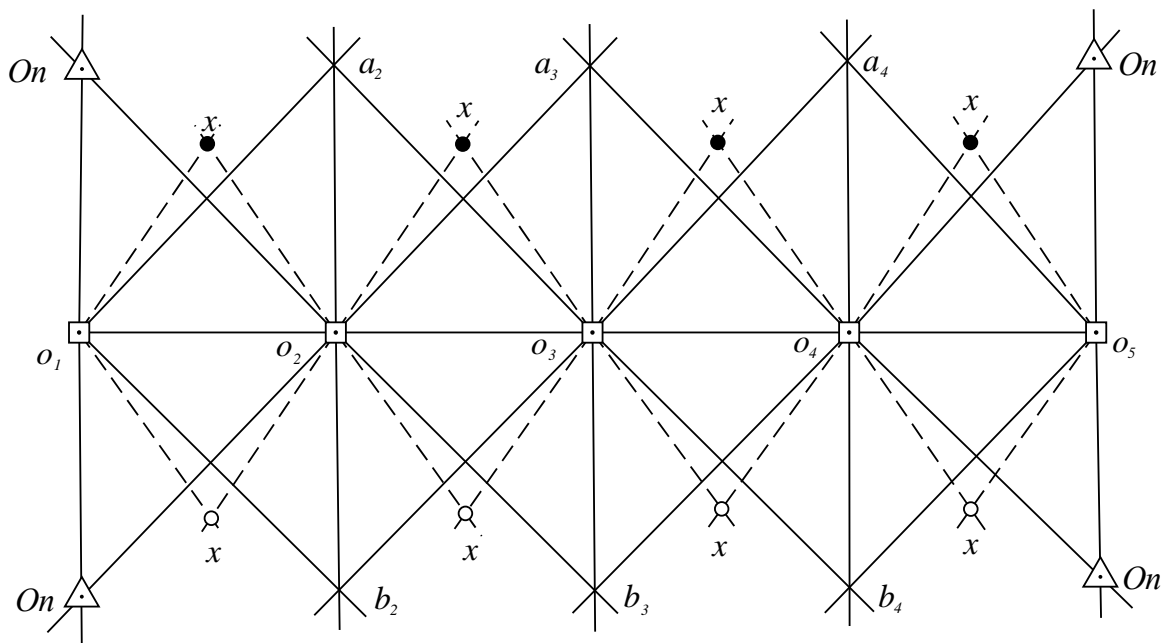


Рис. 7. Построение графического фототриангуляционного ряда

Пересечение соответствующих центральных направлений двух восковок, осуществляющих прямую засечку, определяет плановое положение точек, в том числе и связующих ( $a_2, b_2$ ), в масштабе базиса  $o_1o_2$ .

Третью восковку направлений укладывают на вторую, совмещая их начальные направления ( $o_2o_3$  и  $o_3o_2$ ). Передвигая третью восковку вдоль начального направления, добиваются прохождения её соответствующих направлений через связующие точки ( $a_2, b_2$ ), полученные с помощью первых двух восковок. Стороны треугольников

погрешностей, возникающих при этих точках из-за ошибок направлений, не должны превышать 0.3 мм. В результате такой укладки определяется плановое положение центральной точки третьей восковки, а также связующих точек  $a_3, b_3$  в масштабе первого базиса  $a_1, b_1$ . Углы при центральных точках восковок направлений 1, 2, 3 равны соответствующим углам на местности, а стороны между центральной точкой второй восковки и связующими точками, полученными с помощью восковок 1, 2 и 2, 3 – совпадают. То есть выполненное построение имеет постоянный масштаб и его точки занимают плановое положение в системе этого построения.

Аналогичным образом укладывают остальные восковки направлений, закрепляя их грузиками. После этого на общую восковку перекалывают центральные точки восковок, а в пересечении соответствующих направлений – ориентирующие и опорные точки. На общей восковке точки обводят тушью. Полученный фототриангуляционный ряд построен в одном масштабе. Однако этот масштаб не равен масштабу создаваемого фотоплана, а ориентирование ряда произвольное.

### Редуцирование и увязка фототриангуляции

*Редуцирование фототриангуляционного ряда* заключается в приведении его к масштабу создаваемого плана с одновременным ориентированием относительно опорной сети.

При графическом фототриангулировании в камеральном производстве применяют оптический способ редуцирования с помощью оптического редулятора, а в экспедиционных условиях – графоаналитический способ.

*Графоаналитическое редуцирование* заключается в нахождении среднего коэффициента редуцирования  $K$  и в проведении с его помощью процесса редуцирования.

Для получения коэффициента  $K$  определяют частные коэффициенты редуцирования путём деления каждого расстояния между опорными точками основы (на рис. 8,  $a$  – точки  $a_0, b_0, c_0, d_0$ ) на соответственные расстояния общей фототриангуляционной восковки (на рис. 8,  $b$  – между точками  $a, b, c, d$ ):

$$K_1 = \frac{a_0 b_0}{ab}, K_2 = \frac{a_0 c_0}{ac}, K_3 = \frac{a_0 d_0}{ad} \text{ и т. д.} \quad (2)$$

Среднее значение из частных коэффициентов и является средним коэффициентом редуцирования  $K$ . При этом отклонения частных коэффициентов от среднего не должны превышать 0.003, а для коротких расстояний (например,  $a_0 d_0$  и  $ad, b_0 c_0$  и  $bc$  – 0.006).

Затем на общей восковке измеряют расстояния  $r$  от полюса, выбранного в центре этой восковки (точка  $O$  на рис. 8,  $b$ ) до всех точек фототриангуляции, т.е. расстояния  $Oa, O1$  и т.д. Для получения редуцированного положения указанных точек вычисляют величины поправок

$$v = r_0 - r = Kr - r = r(K - 1), \quad (3)$$

где  $r_0 = Kr$  – редуцированное значение расстояний  $r$ .

Поправки  $v$  откладывают от точек фототриангуляции вдоль лучей, идущих из по-

люса общей восксовки. Если  $v$  положительны, поправки вводят по направлению от полюса, если отрицательные – к нему.

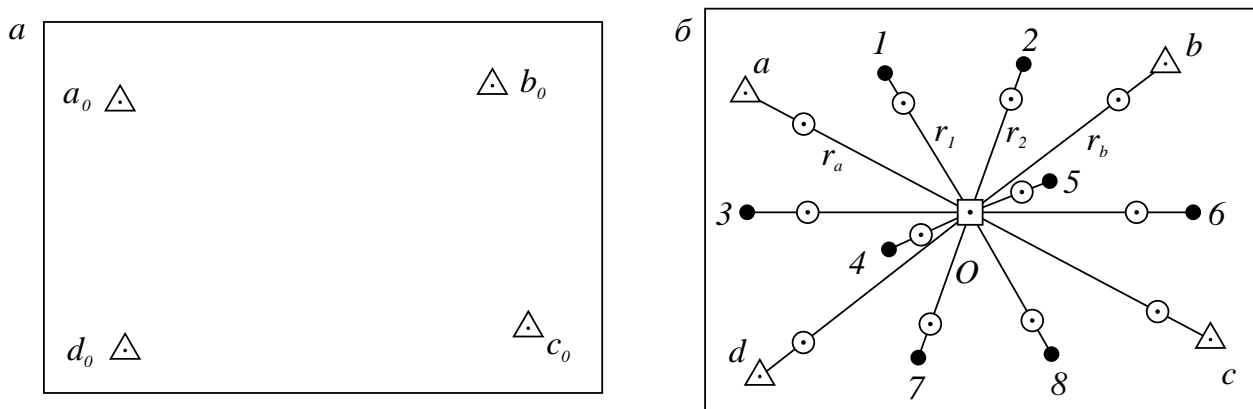


Рис. 8. *а* – основа с опорными точками; *б* – графоаналитическое редуцирование

После этого совмещают редуцированные опорные точки общей восксовки с соответственными точками основы (допустимая величина расхождения 0.7 мм). Затем перекальывают на основу редуцированные центральные и ориентирующие точки фототриангуляции.

*Увязка фототриангуляции.* После редуцирования соответственные ориентирующие точки смежных маршрутов из-за ошибок фототриангуляции не совпадают. Эти расхождения (они не должны превышать 0.7 мм) увязывают путём соответствующей укладки восксовок направлений на основу. Укладку восксовок ряда производят, пользуясь отредуцированным положением его точки. Затем, передвигая восксовки, последовательными приближениями обиваются, чтобы их центральные направления проходили на основе не дальше 0.2 мм от среднего положения ориентирующих точек смежных маршрутов и от опорных точек. Возникающие в результате перемещения восксовок расхождения их начальных направлений и треугольники погрешностей при связующих точках (их стороны) не должны превышать 0.3 мм. После этого накальывают новое положение центральных и ориентирующих точек.

Аналогичным образом производят увязку остальных фототриангуляционных рядов. Если после увязки расхождения на ориентирующих точках не превышают 0.4 мм, накальвают их среднее положение. Полученные после увязки ориентирующие и центральные точки обводят на основе красными кружками ( $d = 0.8$  мм). Эти точки используются в дальнейшем при трансформировании аэроснимков и при изготовлении фотоплана.

### Точность графической фототриангуляции

Точность графического фототриангуляционного ряда зависит в основном от влияния ошибок центральных направлений. Они вызываются геометрическими (наклоном аэроснимка, рельефом местности) и физическими факторами (в основном из-за неравномерной деформации фотоматериалов), а также графическими ошибками, возникающими при отождествлении и наклке точек на аэроснимках, прочерчивании направлений и укладке восксовок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основные положения по аэрофотосъёмке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов. – М.: Недра, 1982.
2. Буров М.И., Красноперцев Б.В., Михайлов А.П. Практикум по фотограмметрии. – М.: Недра, 1987.
3. Мурашев С.А., Гебгарт Я.И., Кислицын А.С. Аэрофотогеодезия. – М.: Недра, 1985.
4. Обиралов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: учебник для вузов. – М.: КолосС, 2006.
5. Самсонова Н.В. Дистанционное зондирование и фотограмметрия (практикум): учебное пособие. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014.





**ПРИЛОЖЕНИЕ 1 КАТАЛОГ КООРДИНАТ ПЛАНОВЫХ ОПОРНЫХ ТОЧЕК**

№ п/п	Название и номер опознака	Номер снимка	Координаты, м		Описание опорной точки
			X	Y	
1	2	3	4	5	8