

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович

Должность: ректор ФГБОУ ВО Вавиловский университет

Дата подписания: 27.03.2025 15:55:13

Уникальный программный ключ:

528682d78e671e566ab07f01fe1ba2172f735a12

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсовой работы по дисциплине
«Автоматизированные системы сбора и обработки результатов дистанционного
зондирования»

Стереотопографический метод составления плана местности

Для студентов направления подготовки

21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование

профиль подготовки

Геодезия и дистанционное зондирование

Саратов 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1 СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА МЕСТНОСТИ

1.1 Общие положения

1.2 Краткие сведения о аэрофотосъемке

2 СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА ЛЕТНО-СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

2.1 Целевое назначение материалов аэрофотосъемки

2.2 Задание к курсовой работе

2.3 Расчет высоты фотографирования и масштаба аэрофотосъемки

2.4 Расчет плотности планово-высотной привязки аэрофотоснимков

2.5 Аэрофотосъемочные расчеты

2.6 Проектирование аэрофотосъемочных маршрутов

2.7 Проектирование планово-высотных и высотных опознаков

2.8 Проектирование геодезических работ для планово-высотной привязки снимков

3 СОСТАВЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1 СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА МЕСТНОСТИ

1.1 Общие положения

Известно, что в настоящее время основным методом создания топографических карт и планов является стереотопографический, основанный на фотограмметрической обработке снимков, которая реализована в двух вариантах: аналоговом и аналитическом. Первый из них базируется на использовании специальных фотограмметрических приборов, позволяющих в камеральных условиях осуществлять одновременно все необходимые для составления плана (карты) процессы. Аналитический вариант предусматривает цифровую обработку

аэрокосмической информации с целью создания цифровых моделей местности и электронных карт и планов. Он ориентирован на современные компьютерные технологии и средства компьютерной графики. В землеустройстве и земельно-кадастровых работах наибольшее применение пока находит первый вариант фотограмметрической обработки снимков. При этом основными аналоговыми фотограмметрическими приборами являются:

- стереограф профессора Ф.В. Дробышева (СД-3);
- стереопроектор профессора Г.В. Романовского (СПР-3);
- стереограф ЦНИИГАиК (СЦ).

В отличие от аналитического метода модель, созданная на аналоговом приборе, может быть не только визуально просмотрена и изучена, но с ее помощью возможно выполнять различные измерения (такие, как определение координат и высот интересующих точек, измерения длин отрезков, площадей, выполнение инженерных изысканий). Следует, однако, отметить несколько низкую по сравнению с аналитическими методами точность обработки снимков на универсальных стереоприборах за счет их сложности, а следовательно, меньшей, чем у аналитических приборов, инструментальной точности.

Вместе с тем стереотопографический метод топографической съемки пока не может быть реализован без геодезических измерений на местности. Они необходимы для формирования результатов фотограмметрической обработки снимков (карт, планов, ЦММ и др.) в геодезическом пространстве местности, например, в зональной прямоугольной системе плановых координат и Балтийской системе высот. Процесс преобразования фотограмметрической информации в геодезическую в фотограмметрии носит название «внешнее ориентирование фотограмметрической модели». И эта задача решается по опорным точкам. Опорными называются такие точки, которые хорошо (безошибочно) опознаются на снимках и имеют геодезические координаты. Геодезические координаты опорных точек можно получить с помощью геодезических измерений на местности (теодолитные, полигонометрические ходы, засечки, высотные ходы и т. п.) или камерально-фотограмметрическими методами.

Процесс опознавания на снимках точек местности и определение их координат на местности геодезическими методами называют планово-высотной подготовкой (привязкой) аэрофотоснимков. Если местность однообразна и процесс опознавания характерных точек на аэроснимках существенно затруднен, то их намечают на местности согласно проекту планово-высотной подготовки снимков. Для безошибочного опознавания точки обозначают специальными маркировочными знаками из контрастного по отношению к местности материала (марля, полиэтиленовая пленка, пенопласт и др.) соответствующей формы и размера, зависящих от масштаба аэросъемки. В последнем случае аэрофото съемка местности производится только после маркировки и планово-высотной привязки снимков.

Привязка, обеспечивающая каждую стереопару необходимым количеством опорных точек (не менее четырех планово-высотных опознаков), называется сплошной, в противном случае – разреженной. При разреженной планово-высотной подготовке снимков, чаще всего применяемой на практике, технологией работ предусмотрено восполнение недостающих опорных точек фотограмметрическими методами. Этот процесс носит название «фотограммсгущение» и осуществляется одним из способов пространственного фототриангулирования, чаще всего с использованием аналитических методов. Процесс фотограммсгущения также нуждается в опорных точках, для чего и производится разреженная планово-высотная привязка снимков.

Опорные точки, координаты и высоты которых получают из геодезических измерений на местности, называют также опознаками. Если опознак имеет все три координаты, его называют планово-высотным, если только плановые – плановым, если только имеет отметку – высотным. Опорные точки, получаемые из фототриангуляции, именуют фотограмметрическими точками. Точность их определения в плане и по высоте заметно ниже точности опознаков, которые определены геодезическими методами на местности. Поэтому к фотограммсгущению предъявляются жесткие требования, в соответствии с которы-

ми координаты и высоты опорных фотограмметрических точек должны иметь надлежащую точность, аналогичную той, которая предъявляется к точкам съемочного обоснования при топографических съемках местности.

Точность фотограммсгущения зависит от многих факторов, в том числе и от расстояния между планово-высотными опознаками по направлению маршрута. Для расчетов это расстояние исчисляется количеством базисов (n) между смежными рядами опознаков, обычно проектируемых и закрепляемых на местности поперек прокладываемых маршрутов аэросъемки. Для расчетов n используются рекуррентные формулы точности фотограммсгущения, в которых помимо других факторов, влияющих на точность, присутствует величина n , которую и подбирают, исходя из требуемой точности получения координат и высот опорных фотограмметрических точек. В свою очередь, требуемая точность зависит от масштаба плана и высоты сечения рельефа горизонталями, плана, который предстоит создать по материалам проектируемой аэрофотосъемки.

1.2 Краткие сведения о аэрофотосъемке

Аэрофотосъемкой называется процесс фотографирования земной поверхности с самолета или другого летательного аппарата. Она производится специальным аэрофотоаппаратом (АФА), как правило, днем в безоблачную погоду при высоте солнца более 10° . Для топографических целей она выполняется, как правило, с самолета кадровыми АФА типа АФА-ТЭ, АФА-41, АФА-ТЭС, ТАФА. В качестве носителей съемочной аппаратуры служат самолеты АН-2, ИЛ-14, АН-30.

Аэрофотосъемка выполняется при отвесном положении оптической оси АФА (плановая аэрофотосъемка с углами наклона до 3°) в заданном масштабе.

Масштабом аэрофотосъемки называется отношение линейных размеров изображения на снимках к соответствующим действительным линейным размерам объектов на фотографируемой местности. Масштаб съемки зависит от фокусного расстояния (f) АФА и от высоты фотографирования (H):

$$\frac{1}{m} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H}, \quad (1)$$

где m – знаменатель масштаба, показывающий, во сколько раз изображение объекта на снимке меньше действительных его размеров на местности.

Известно, что пространственное положение сфотографированного объекта можно определить лишь в том случае, если он изобразился хотя бы на двух снимках, полученных с разных точек пространства, т. е. с некоторого базиса B_x . Выполнение этого условия возможно только при наличии перекрытия смежных снимков вдоль маршрута съемки не менее чем на 50 %. При съемке значительных территорий прокладываются параллельные маршруты (чаще всего по параллелям) с заданным расстоянием между ними (B_y), обеспечивающим некоторое перекрытие и между смежными маршрутами. Таким образом, снимки имеют продольное перекрытие (P_x – вдоль направления полета самолета) и поперечное (P_y) между смежными маршрутами.

Величины перекрытий задаются в процентах от формата снимка (l), принимаемого за 100 %.

Тогда

$$\left. \begin{aligned} P_x &= \frac{l_x}{l} 100 \text{ \%}; \\ P_y &= \frac{l_y}{l} 100 \text{ \%,} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где l_x и l_y – размер перекрытой части снимка соответственно вдоль его оси абсцисс и ординат.

При фиксированном (известном) формате снимка ($l \times l$) и заданных продольном (P_x) и поперечном (P_y) перекрытиях таких снимков базис фотографи-

рования B_x и расстояния между осями смежных маршрутов B_y в масштабе аэрофотосъемки определяются соответственно по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} b_x &= l(100 - P_x) / 100, \\ b_y &= l(100 - P_y) / 100. \end{aligned} \right\} (3)$$

Масштаб аэрофотосъемки, как это следует из формулы (1), зависит от высоты фотографирования и величины фокусного расстояния АФА. Оба эти параметра главным образом определяют точность фотограмметрической обработки снимков, поэтому к их выбору подходят с особой тщательностью и ответственностью при проектировании летно-съёмочных работ. Не касаясь пока этих вопросов, введем лишь понятие самой высоты фотографирования, точнее, относительно чего ее отсчитывать. Чтобы ответить на данный вопрос, необходимо принять во внимание тот факт, что рельеф местности приводит к разномасштабности частей снимка вследствие смещения точек на нем от своего планового положения из-за разных высот фотографирования над отдельными участками местности. Смещение точек на снимке характеризуется формулой

$$\delta r_h = \frac{r h}{H}, \quad (4)$$

где r – радиус-вектор положения точки на снимке;

h – превышение этой точки над плоскостью, относительно которой задана высота фотографирования H .

Если высоту фотографирования задавать над средней плоскостью объекта съемки, то превышения отдельных точек над ней уменьшатся в два раза, следовательно, в два раза и уменьшится величина δr_h . Так и поступают при проектировании летно-съёмочных работ. При этом высоту (отметку) этой горизонтальной плоскости (A^{cp}) определяют по формуле

$$A_{cp} = 0,5(A_{\max} + A_{\min}),$$

где $A_{\max}$, $A_{\min}$ – максимальная и минимальная высоты точек на объекте.

2 СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА ЛЕТНО-СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

2.1 Целевое назначение материалов аэрофотосъемки

В рамках курсовой работы проект летно-съёмочных работ и планово-высотной подготовки снимков составляется с целью создания топографических планов заданного масштаба с назначенной высотой сечения (h_c) рельефа горизонталями стереотопографическим методом на аналоговых фотограмметрических приборах.

Каждому студенту предложен объект картографирования, обозначенный на топографической карте того или иного масштаба, а также тип летательного аппарата, его крейсерская скорость, перечень типов аэросъёмочных камер (АФА) и обрабатывающих фотограмметрических приборов. Кроме того, приведены технические характеристики АФА и возможности аналоговых стереоприборов.

Главной задачей проектирования является обоснованный выбор высоты фотографирования и масштаба аэрофотосъемки, так как эти параметры в основном определяют стоимость проекта и должны обеспечить требуемую точность последующих картосоставительных работ. Естественно, чем меньше снимков понадобилось для фотографирования местности, тем менее затратной будет их последующая фотограмметрическая обработка. Поэтому стремятся к увеличению соотношения масштаба картографирования ($1:t$) и масштаба фотографирования местности, т. е. отношение

$$(1:t)/(1:m) > 1$$

ведет к заметному снижению затрат при составлении топографических карт по снимкам.

Однако разрешающая способность снимков, следовательно, и точность их обработки снижаются по мере увеличения знаменателя масштаба съемки (m). И хотя масштаб аэрофотосъемки можно регулировать путем изменения величины фокусного расстояния АФА [см. формулу (1)], тем не менее величина $m/t = k$ не может быть чрезмерно большой, в том числе и по другим причинам.

Проект геодезической привязки снимков базируется на топографической изученности объекта съемки по картографическим материалам, характере рельефа и растительности, а также на точности определения координат и высот опознаков, которая зависит от масштаба картографирования и высоты сечения рельефа горизонталями.

2.2 Задание к курсовой работе

Исходные данные

- 1 Топографическая карта на объект картографирования.
- 2 Тип летательного аппарата и его крейсерская скорость.
- 3 Перечень типов аэрофотоаппаратов (АФА) для выполнения аэросъемочных работ (табл. 1).
- 4 Перечень аналоговых фотограмметрических приборов для составления топографического плана.
- 5 Расчетное перекрытие снимков.
- 6 Технические характеристики АФА и аналоговых стереоприборов.

Содержание задания

- 1 Разработать проект летно-съемочных работ, обоснованно подтвердив расчетами выбор высоты фотографирования и масштаба аэрофотосъемки.

2 Рассчитать плотность полевой геодезической привязки аэрофотоснимков.

3 Составить мотивированное заключение о подходе к проектированию опознаков: будут ли в качестве последних использоваться естественные местные предметы или они подлежат специальному маркированию перед выполнением летно-съёмочных работ.

4 Выполнить необходимые для съёмки аэрофотосъёмочные расчеты и определить требуемое количество аэрофотоплёнки.

5 Обосновать методы плано-высотной подготовки снимков, согласуя их выбор с масштабом картографирования, высотой сечения рельефа и типом ландшафта на объекте.

6 Выполнить графическое оформление проекта аэрофотосъёмки и плано-высотной привязки фотоснимков.

7 Составить пояснительную записку.

2.3 Расчет высоты фотографирования и масштаба аэрофотосъёмки

При проектировании аэрофотосъёмочных маршрутов необходимо стремиться к максимальному соотношению масштабов картографирования и съёмки, т. е.

$$k = \frac{m}{t} > 1. \quad (5)$$

Увеличение коэффициента k обеспечивает заметное уменьшение числа снимков, что, в свою очередь, сокращает объём полевых и камеральных работ, снижает затраты картографического производства. Однако повышать коэффициент можно до определенного предела. Вызвано это тем, что при составлении плана ошибки фотоизображения переносятся на него увеличенными в k раз, что может привести к недопустимым погрешностям в положении контуров на

плане. Следовательно, необходимо определить разумное соотношение масштабов плана и снимка, т. е. надо знать метрические свойства снимка и требования к точности изображения объектов местности на плане.

Аналитически это можно представить так:

$$m \leq \frac{\delta_{пл}}{\delta_{сн}} \cdot t, \quad (6)$$

где $\delta_{пл}$, $\delta_{сн}$ — соответственно допустимая погрешность положения точки на плане и линейная разрешающая способность фотоизображения совместно с ошибками отождествления и измерения координат точки на снимке.

В соответствии с требованиями к проведению топографических работ необходимо, чтобы средняя ошибка $\delta_{пл}$ определения на карте (плане) планового положения точки не превышала 0,35 мм. Основную часть ошибки $\delta_{сн}$ составляет линейная разрешающая способность съемочной системы. Разрешающая способность определяется числом раздельно воспроизводимых черных линий в 1 мм изображения при таком же белом интервале между ними. Ее определяют путем съемки штриховой или радиальной миры (специальный тест-объект). Например, если АФА имеет разрешение 25 мм^{-1} , то это означает, что в 1 мм изображения может быть различимо до 50 черных и белых линий, размер которых составит 0,02 мм (1 мм/50). В табл. 1 в числе других технических характеристик АФА дана и разрешающая способность объектива съемочной камеры.

Таблица 1

Технические характеристики АФА

Тип АФА	Фокусное расстояние, мм	Разрешающая способность, мм^{-1}	Диапазон выдержек, с
ТЭС–5	50	15	1/70–1/850
ТЭС–5М	72	25	1/70–1/850
ТЭС–70С	70	15	1/50–1/440

ТЭС–10М	100	33	1/70–1/700
ТЭ–140М	140	20	1/30–1/240
ТАФА–10	100	18	1/70–1/1000
ТЭ–200М	200	20	1/40–1/240
ТЭ–35	350	35	1/70–1/700
ТАФА–20	200	35	1/70–1/1000

Вторая составляющая $\delta_{сн}$ обусловлена возможностями зрительного аппарата человека в отождествлении соответственных (одноименных) точек на смежных снимках и инструментальной точностью стереокомпаратора, на котором измеряются координаты точек.

Суммарное значение $\delta_{сн}$ обычно представляют в виде выражения типа

$$\delta_{сн} = c \cdot r, (7)$$

где r – линейная разрешающая способность объектива АФА ;

c – коэффициент, зависящий от вышеназванных факторов, который изменяется в пределах от 1,5 до 3,0.

На современном уровне развития фотограмметрического приборостроения и технологии обработки снимков соотношение масштабов плана и аэрофотосъемки достигло величины 8–10 , т. е. на практике $k \leq 10$. И с этим надо считаться при определении m по формуле (6).

Высота фотографирования H существенно влияет на точность определения превышений, следовательно, и на точность отображения рельефа на плане. При заданном масштабе аэросъемки высоту фотографирования можно уменьшить за счет уменьшения фокусного расстояния АФА ($H = f \cdot m$) . Однако f не может быть меньше 50–70 мм, так как технически трудно при формате кадра 180×180 мм изготовить объектив с углом поля изображения более 120°. Да и не во всех случаях можно использовать короткофокусную технику. Например, при съемке горных и высокогорных районов нельзя применять АФА с очень коротким фокусным расстоянием, так как с уменьшением высоты фотографирования (а именно об этом здесь и идет речь) возрастают смещения точек из-за

рельефа местности [см. формулу (4)], что может привести к потере стереоэффекта при стереоскопическом наблюдении снимков. Поэтому в равнинной местности для съемки используют широкоугольные АФА ($100 \geq f > 50$ мм), в предгорных районах – нормальноугольные ($200 \geq f \geq 100$), в горных и высокогорных – узкоугольные АФА ($f > 200$ мм).

Основным критерием при выборе (обосновании) высоты фотографирования является высота сечения рельефа горизонталями и точность подписываемых на плане высот точек. Принято считать, что погрешность высот точек, подписываемых на плане (в том числе высот горизонталей), не должна превышать 0,20–0,25 от высоты сечения рельефа (h_c). Следовательно, максимальная высота фотографирования не может быть больше величины, вычисленной по формуле

$$H_{\max} = 5000 \delta h, \quad (8)$$

где δh и есть ($1/5 \div 1/4$) от h_c .

Пример

Выбрать параметры аэрофотосъемки (АФС) для создания плана в масштабе 1:25 000 на равнинную территорию с сечением рельефа 2,5 м с таким расчетом, чтобы погрешность в определении высот не превышала 0,5 м ($2,5 \cdot 0,2$).

Полагая, что $\delta_{пл} = 0,35$ мм, $\delta_{сн} = 2,0 \cdot 0,03 = 0,06$ [по формуле (7)], рассчитаем масштаб АФС по формуле (6). В результате получим $m < 146\,000$.

При тех же исходных данных $H_{\max} = 5000 \cdot 0,5 = 2500$ м. Определим теперь фокусное расстояние АФА:

$$f = H/m = 2500/146\,000 = 0,017 \text{ м} = 17 \text{ мм}.$$

Поскольку АФА с таким фокусным расстоянием нет, то, учитывая равнинный характер местности, выбираем $f = 55$ мм. Тогда окончательно $f = 55$ мм, $H = 2500$ м, $m = H/t = 2500/0,055 = 45455 = 45\ 000$. Поскольку знаменатель АФС округлили, то необходимо пересчитать и высоту фотографирования, т. е.

$$H = m \cdot f = 45\ 000 \cdot 0,055 = 2475 \text{ м.}$$

Как видим, для мелкомасштабных планов $k = m/t = 45\ 000/25\ 000 = 1,8$, что вызвано высокими требованиями к точности определения высот точек, и это ограничило высоту фотографирования.

2.4 Расчет плотности планово-высотной привязки аэрофотоснимков

Сплошная планово-высотная подготовка аэроснимков применяется достаточно редко. Она сопряжена с большими затратами на полевые геодезические измерения, тем не менее используется при крупномасштабном картографировании плоскоравнинной территории с малой высотой сечения рельефа горизонталями (0,25; 0,50 м). В остальных случаях ведется разреженная привязка снимков, а для восполнения недостающих опорных точек выполняется, как было указано выше, фотограммсущение, основным методом которого является аналитическая пространственная фототриангуляция. Точность получаемых координат и высот точек данным способом зависит и от высоты фотографирования, и от величины фокусного расстояния АФА, а также от инструментальной точности стереокомпаратора, на котором ведутся измерения плоских координат точек. Заметное влияние на точность пространственного фототриангулирования оказывают формат снимков и их перекрытие. И это еще не все. Точность фототриангуляции, кроме вышеперечисленного, зависит от числа стереопар (n), используемых при фототриангулировании.

Для развития фототриангуляции маршрут делят на секции, каждая из ко-

торых должна быть обеспечена необходимым количеством опорных точек для внешнего (геодезического) ориентирования фотограмметрической сети. Речь идет о маршрутной фототриангуляции. (Существуют и другие методы фотограммсгущения, например, многомаршрутная фототриангуляция). Фототриангуляция строится в пределах двух секций, включающих по n стереопар (базисов) в каждой секции. Наиболее слабые места в определении координат и высот точек находятся в серединах этих секций, т. е. на максимальном удалении определяемых точек от опорных, координаты и высоты которых, как известно, получают на основе полевых геодезических измерений. Чтобы точки фотограммсгущения удовлетворяли требованиям, предъявляемым к опорным точкам при составлении карт и планов, необходимо уже на стадии проектирования АФС выполнить предварительный расчет точности пространственного фототриангулирования. Для маршрутной фототриангуляции формулы предрасчета точности имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \delta l &= 0,17 \frac{fH}{e^2 y} \delta q n \sqrt{n+3}; \\ \delta z &= 0,11 \frac{f^2 H}{e^2 y} \delta q n \sqrt{n+3}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Вышеприведенные формулы характеризуют точность фотограммсгущения в плане (δl) и по высоте (δz). Она зависит от высоты фотографирования (H), фокусного расстояния АФА (f), точности измерений на стереокомпараторе (δq), а также от формата снимков (ℓ) и величины их продольного перекрытия (P_x), которые определяют значения максимальной ординаты (y) внутри рабочей площади стереопары и базис фотографирования (e) в масштабе АФС [см. например, формулы (3)].

Если задаться величинами δl и δz , которых не должны превышать правые части формул (9), то остается методом подбора определить n , подставляя в них на данный момент уже известные остальные компоненты.

Поскольку точность определения планового положения точек не зависит от высоты сечения рельефа горизонталями и является постоянной величиной в масштабе плана (0,35 мм), первую из вышеприведенных формул можно для практического использования представить в следующем виде:

$$n_{пл} = 17,4 \sqrt[3]{t^2 / m^2}.$$

Следовательно, плановые опознаки при разреженной привязке снимков следует проектировать через $n_{пл}$ базисов фотографирования. Рассчитанное по этой формуле число округляют до целого значения. Для предыдущего примера

$$n_{пл} = 17,4 \sqrt[3]{25\,000^2 / 45\,000^2} = 17,4 \sqrt[3]{625 / 2025} = 17,4 \cdot 0,676 = 11,8 = 12.$$

Подсчитаем теперь плотность высотных опознаков (n_{ε}), приняв $\delta z = 0,2 \cdot 2,5 \text{ м} = 0,5 \text{ м}$ (см. вышеприведенный пример), $\delta_q = 0,02 \text{ мм}$ (такова точность измерения координат и параллаксов на стереокомпараторе), $v = y = 70 \text{ мм}$ (при $P_x = 60 \%$ и формате снимка $180 \times 180 \text{ мм}$).

Примем $n_{\varepsilon} = 0,5$ $n_{пл} = 0,5 \cdot 12 = 6$ (высотные опознаки должны располагаться чаще, так как превышения по снимкам определяются с меньшей точностью). После подстановки этих данных в правую часть уравнений (9) в его левой части получим 0,61 вместо ожидаемого $\delta z = 0,50$. Следовательно, n_{ε} должно быть меньше 6. Удовлетворяет уравнению число 4, т. е. $n_{\varepsilon} = 4$.

Для сокращения объема полевых геодезических работ высотные опознаки совмещают с плановыми (и они становятся планово-высотными). Поскольку фототриангуляция строится в пределах двух секций, то опознаки проектируют по принципу $n_{пл} = 2n_{\varepsilon}$, т. е. окончательное решение принимают исходя из расстояния (n_{ε}) между высотными опознаками. Для рассматриваемого примера

$n_{пл} = 2n_{\epsilon} = 2 \cdot 4 = 8$; $n_{\epsilon} = 4$. При этом планово-высотные опознаки располагают в начале и конце фототриангуляционного ряда, высотные – в середине.

Результаты расчетов вместе с заданными для проектирования данными занести в табл. 2.

2.5 Аэрофотосъемочные расчеты

После завершения расчетов основных параметров АФС (H , f , m) можно, используя данные табл. 2, приступить к вычислению необходимых для проектирования аэрофотосъемочных маршрутов элементов АФС.

Основными аэрофотосъемочными элементами являются:

- абсолютная высота фотографирования (H_a);
- высота фотографирования над средней плоскостью участка съемки (H);
- тип АФА, его фокусное расстояние и формат кадра (f и ℓ);
- продольное и поперечное перекрытия снимков (P_x, P_y);
- расстояние между смежными точками фотографирования (базис фотографирования B_x);
- расстояние между осями смежных маршрутов (B_y);
- максимальное время экспонирования (выдержка), при котором смаз изображения (точка местности изображается на снимке отрезком) не превышает заданного предела (обычно 10–20 мкм), измеряется в секундах и представляется в виде дроби с числителем, равным единице, причем знаменатель округляют до целых десятков;
- количество маршрутов (n) и снимков (k) в каждом из них;
- потребное количество пленки (в рулонах, в каждый из которых входит 300 кадров, округляют до их целого числа в сторону увеличения);
- интервал между экспозициями (τ).

Таблица 2

Основные данные для проектирования АФС

Наименование сведений для проектирования АФС	Значение
Протяженность объекта картографирования вдоль оси абсцисс (запад – восток), м	$L_x =$
Протяженность объекта картографирования вдоль оси ординат (юг – север), м	$L_y =$
Масштаб картографирования (проект)	1:
Сечение рельефа горизонталями (h^c), м	
Расчетное (предварительное) продольное перекрытие снимков (P'_x), %	
Расчетное (предварительное) поперечное перекрытие снимков (P'_y), %	
Формат прикладной рамки АФА (снимка), мм	180×180
Фокусное расстояние АФА (проект), мм	
Линейная разрешающая способность объектива АФА, мм	
Минимальная выдержка затвора АФА, с	
Допустимый смаз изображения, мм	0,02
Крейсерская скорость самолета (V), м/с	
Высота фотографирования над средней плоскостью объекта съемки (проект), м	
Масштаб аэрофотосъемки (проект)	1:
Масштаб карты для составления проекта АФС (1:M)	1:
Число базисов фотографирования ($n_{пл}$) между планово-высотными опознаками	
Число базисов фотографирования (n_v) между высотными опознаками	
Максимальная высота местности на объекте (A_{max}), м	
Минимальная высота местности на объекте (A_{min}), м	

Вычисление вышеназванных элементов следует выполнить по формулам, приведенным в табл. 3.

Таблица 3

Расчет аэрофотосъемочных элементов

Наименование элементов АФС	Значение
Отметка средней плоскости на объекте ($A_{cp} = 1/2(A_{max} + A_{min})$), м	
Абсолютная высота фотографирования ($H_a = H + A_{cp}$), м	
Максимальное превышение (h) над средней плоскостью ($h = A_{max} - A_{cp}$), м	
Проектируемое продольное перекрытие ($P_x = P_x' + 50 h/H$), %	
Проектируемое поперечное перекрытие ($P_y = P_y' + 50 h/H$), %	
Базис фотографирования в масштабе АФС ($e = 180(100 - P_x)/100$), мм	
Базис фотографирования АФС ($B_x = em/1000$), м	
Базис фотографирования на схеме проекта ($dx = em/M$), мм	
Расстояние между осями АФС в масштабе съемки ($e_y = 180(100 - P_y)/100$), мм	
Расстояние между осями АФС на местности ($B_y = e_y \cdot m/1000$), м	
Расстояние между осями АФС на схеме проекта ($dy = e_y \cdot m/M$), мм	
Количество снимков (k) в маршруте АФС ($L_x/B_x + 3$)	
Число маршрутов (n) АФС ($L_y/B_y + 1$)	
Общее количество снимков ($N = k \cdot n$)	
Максимальная выдержка, при которой смаз изображения не превышает величины 0,02 мм ($1/(50\,000 V/m)$), с	1/
Интервал между экспозициями ($\tau = B_x/V$), с	
Потребное количество аэрофотопленки (число рулонов)	

2.6 Проектирование аэрофотосъемочных маршрутов

Проектирование АФС ведется на топографической карте в масштабе в 5–10 раз мельче масштаба создаваемого плана. Аэрофотосъемка для целей картографирования обычно производится параллельными маршрутами, прокладываемыми вдоль параллелей, следовательно, на карте они будут располагаться параллельно ее северной и южной рамке.

Первый аэрофотосъемочный маршрут проектируют вблизи северной или южной границы объекта картографирования (например, на 1–5 мм севернее границы объекта). Зеленым цветом проводится линия (ось маршрута) строго параллельно линии координатной сетки топографической карты.

Ось следующего маршрута отстоит от предыдущего на величину B_y на местности и dy – на карте (табл. 3). Значение dy тщательно откладывают с использованием линейки с миллиметровыми делениями вдоль западной и восточной границы объекта и через полученные точки проводят линию оси следую-

шего маршрута. Так продолжают до тех пор, пока ось очередного маршрута не выйдет за границу объекта картографирования. Прежде, чем наносить ось этого маршрута на карту, нужно убедиться в его необходимости. Если ось предыдущего маршрута находится не дальше $0,3dy$ от границы объекта, то прокладывать аэросъемочный маршрут за границей объекта нет необходимости: границу обеспечит фотоизображением предыдущий маршрут.

Правильность выполненного проектирования можно проверить так: число маршрутов на карте должно совпадать с их количеством, полученным в табл. 3.

На каждом маршруте, если их меньше 6, а в противном случае только на первом и последнем, показывают центры будущих снимков (также зеленым цветом). Первый снимок проектируют (квадрат 2×2 мм) за границей объекта на удалении от нее $0,5dx$ (dx в табл. 3), остальные – через dx друг от друга (последний – за границей). Контроль: число снимков в проекте должно совпадать с их количеством в табл. 3 (несовпадение не более 2).

2.7 Проектирование планово-высотных и высотных опознаков

Маршрутная фототриангуляция, как было отмечено выше, строится в пределах двух секций, для внешнего ориентирования которых необходимы опорные геодезические точки. Процесс построения маршрутной сети сопровождается погрешностями, сопутствующими, как известно, любым измерениям, в том числе и фотограмметрическим. Последние приводят к деформации фототриангуляционной сети точек как в плане, так и по высоте. Выявляется деформация маршрутной модели по остаточным после внешнего ориентирования расхождениям координат и высот на опорных точках. Поэтому на практике число опорных точек всегда больше, чем их необходимо для внешнего ориентирования фотограмметрической сети. Специальными исследованиями установлено, что для полного выявления и частичного исключения деформации маршрутной модели необходимо на две секции иметь не менее 5–6 опорных точек. Опознаки проектируют напротив центров снимков, чтобы они были

изображены как можно на большем числе снимков, и в зонах поперечного перекрытия маршрутов для уменьшения их числа. В последнем случае они будут обеспечивать опорными точками смежные маршруты аэрофотосъемки. На рис. 1 показана стандартная схема расположения планово-высотных и высотных опознаков на фрагменте аэрофотосъемочного маршрута.

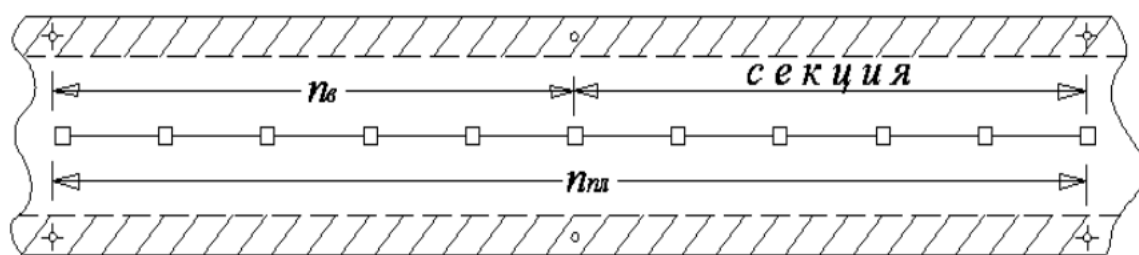


Рис. 1. Оптимальное расположение опознаков в пределах двух секций:

- – центры снимков;
- ✦ – планово-высотные опознаки;
- – высотные опознаки;
- //// – зона поперечного перекрытия маршрутов

Таким образом, опознаки проектируют рядами поперек маршрутов. При этом первый и последний ряды опознаков должны быть обязательно планово-высотными и располагаться за границами объекта картографирования (напротив самого первого и самого последнего центров снимков маршрута). Чтобы выполнить это условие, сначала весь маршрут делят на секции (длиной $n_в$). Если число базисов в маршруте не кратно $n_пл$, то поступают следующим образом. Намечают сперва двойные секции, начиная от западной границы объекта, насколько это возможно. Затем оценивают оставшуюся пока без опознаков часть маршрута. Если до границы объекта осталось больше одной секции, то для всех оставшихся снимков проектируют две секции меньшей протяженности, размещая в середине высотные опознаки. При нечетном числе базисов высотные опознаки проектируют ближе к восточной границе, перенося их от середины оставшейся части маршрута вправо до ближайшего центра снимка. Поэтому влево от ряда высотных опознаков до планово-высотных будет на один базис больше, чем до последнего ряда планово-высотных опознаков.

Если же оставшаяся часть маршрута включает в себя не более одной секции снимков, то между ними высотные опознаки не проектируют.

Наконец, если оставшаяся часть маршрута имеет всего 1–2 базиса, то ближайший левый ряд планово-высотных опознаков сдвигается на запад до образования одной полной секции (справа) с последующим сдвигом влево и ряда высотных опознаков, расположенных западнее переносимого ряда.

В случае разреженной высотной подготовки снимков предъявляются особые требования к плотности обеспечения высотными опознаками крайних на объекте маршрутов. К ним относятся следующие:

- при высотах сечения рельефа 0,5 и 1,0 м проводится полная высотная подготовка аэрофотоснимков крайних маршрутов;
- при высоте сечения рельефа 2,0 и 2,5 м прокладывается высотный ход по наружному краю маршрута с обеспечением каждой стереопары двумя высотными опознаками;
- при высоте сечения 5,0 м высотные опознаки определяются с интервалом 2–3 базиса фотографирования.

При сплошной высотной привязке снимков высотные опознаки располагаются в углах каждой стереопары в зонах поперечного перекрытия аэроснимков. Кроме того, для контроля определяется на каждой стереопаре пятая высотная точка (рис. 2).

Высотные опознаки следует по возможности совмещать с замаркированными точками. Опознаки, не совмещенные с замаркированными точками, выбираются на надежно опознаваемых контурах. Ошибки в опознавании точки на местности и отождествление ее на аэроснимке не должны приводить к ошибке в отметке точки более 1/10 высоты сечения рельефа горизонталями. Запрещается выбирать в качестве высотных опознаков точки, расположенные на крутых склонах.

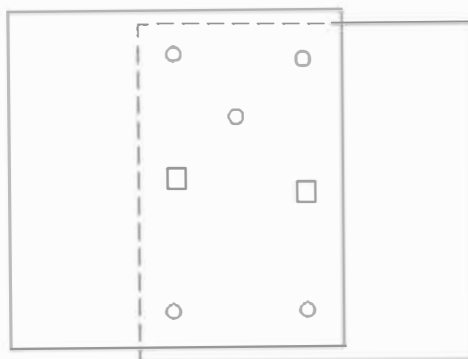


Рис. 2. Расположение высотных опознаков на стереопаре:

- – высотный опознак;
- – главная точка снимка

2.8 Проектирование геодезических работ **для планово-высотной привязки снимков**

Координаты и высоты опознаков определяют путем развития съемочных сетей. Способ определения плановых координат выбирается в зависимости от характера местности и плотности пунктов геодезической сети. В открытой местности с хорошим обзором обычно проектируют прямые, обратные или комбинированные засечки. В других условиях используют теодолитные или полигонометрические ходы, а при наличии электронных тахеометров можно применять лучевой (полярный) метод. Если привязку снимков выполняют теодолитными ходами, то максимальную длину каждого из них рассчитывают по формуле

$$L \leq 0,8 \cdot t, \quad (10)$$

где L – допустимая длина теодолитного хода, м,

t – знаменатель численного масштаба создаваемого плана.

Если на отдельных участках объекта съемки плотность геодезической сети не позволяет проектировать теодолитные ходы рассчитанной по формуле

(10) протяженности, то допускается проложение полигонометрических ходов с использованием оптико-электронных средств измерений. Тогда длину хода можно увеличить в 3–5 раз.

Высоты опознаков определяют техническим нивелированием при съемке с высотой сечения 0,5; 1,0 и 2,0 м или тригонометрическим нивелированием при съемке с высотами сечения рельефа 2,5 и 5,0 м.

На схеме проекта с помощью принятых условных обозначений показывают:

- а) границы объекта съемки (черный цвет);
- б) номенклатурную разграфку планов (синий цвет);
- в) пункты геодезического планового и высотного обоснования, включая необходимые пункты за границей объекта (черный цвет);
- г) направления осей проектируемых маршрутов аэрофотосъемки (зеленый цвет);
- д) предусмотренные проектом опознаки (красный цвет);
- е) линии полигонометрических, теодолитных и нивелирных ходов (красный цвет);
- ж) линии различных видов засечек (красный цвет) согласно рис. 3.

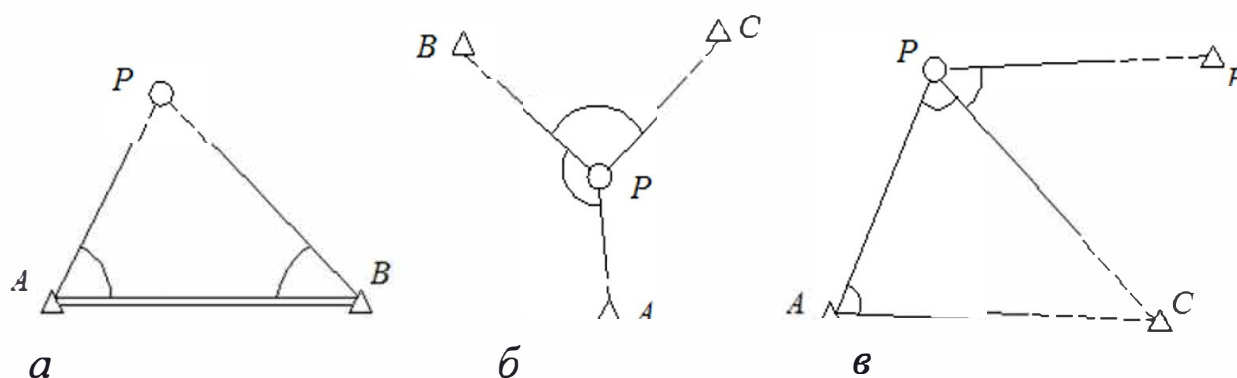


Рис. 3. Типовые схемы засечек:

а – прямая засечка; *б* – обратная засечка; *в* – комбинированная засечка

3 СОСТАВЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В пояснительной записке необходимо отразить следующие основные вопросы:

- 1) технологическая схема стереотопографического метода топографической съемки;
- 2) исходные данные для проектирования;
- 3) обоснование подхода к выбору АФА, его фокусного расстояния, высоты фотографирования и масштаба аэрофотосъемки;
- 4) расчет плотности планово-высотной привязки снимков;
- 5) методика и формулы аэрофотосъемочных расчетов;
- 6) порядок проектирования аэросъемочных маршрутов;
- 7) требования к геодезическим работам по привязке аэрофотоснимков;
- 8) заключение.

Пояснительная записка должна быть выполнена технически грамотно и не содержать пунктуационных и орфографических ошибок. Следует стремиться и к тому, чтобы избегать частых повторений (тавтологий) одних и тех же слов как в одном, так и близлежащих предложениях. Категорически запрещены в курсовой работе сокращения слов, кроме общепринятых, например: и т.д., т.к. Но в фотограмметрической терминологии в отдельных случаях допускаются сокращенные обозначения, однако они должны быть специально оговорены. Одним из приемов введения сокращенного обозначения является указание его вслед за полным названием. Например: «Элементы взаимного ориентирования (ЭВО) определяются по измеренным поперечным параллаксам». Только после этого в последующем тексте можно употреблять сокращенное обозначение – ЭВО.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Комиссаров, А.В. Лазерное сканирование и трехмерное моделирование: учебно-методическое пособие / А.В. Комиссаров. — Новосибирск: СГУГиТ, 2020. — 58 с. — ISBN 978-5-907052-90-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/157332>
2. Гиль, С.В. Трехмерное моделирование средствами AutoCAD: учебно-методическое пособие / С.В. Гиль. — Минск: БНТУ, 2020. — 72 с. — ISBN 978-985-583-173-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/248660>
3. Тюкачев, Н.А. С#. Программирование 2D и 3D векторной графики: учебное пособие для СПО / Н.А. Тюкачев, В.Г. Хлебостроев. — 2-е, стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-8988-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/183317>
4. Дистанционное зондирование Земли: учебное пособие / составитель А.Н. Соловицкий. — Кемерово: КемГУ, 2019. — 66 с. — ISBN 978-5-8353-2418-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/135244>
5. Лимонов, А. Н. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: учебник / А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. — 2-е изд. — Москва: Академический Проект, 2020. — 296 с. — ISBN 978-5-8291-2979-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/132288>
6. Ниязгулов, У. Д. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: учебное пособие / У.Д. Ниязгулов. — Москва: РУТ (МИИТ), 2020. — 543 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/175890>

Образец титульного листа курсовой работы

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»

Кафедра гидромелиорации, природообустройства и строительства в
АПК

Курсовая работа

Тема: Стереотопографический метод составления плана
местности

Выполнил:
Обучающийся 3 курса
Агрономического факультета
Группы Б-ЗК-301
Иванов И.И.

Саратов 2023