

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет транспортных коммуникаций  
Кафедра «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

## КУРСОВАЯ РАБОТА

По дисциплине «Прикладная фотограмметрия»

На тему: «Создание цифровой топографической карты  
с использованием материалов аэрофотосъемки»

Выполнил студент группы \_\_\_\_\_ курса \_\_\_\_\_

(номер группы)

(курс)

\_\_\_\_\_

(ФИО)

\_\_\_\_\_

(подпись)

Научный руководитель \_\_\_\_\_

(должность, учёное звание)

\_\_\_\_\_

(ФИО)

\_\_\_\_\_

(подпись)

Дата сдачи:

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Дата защиты:

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Оценка: \_\_\_\_\_

Минск 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ	4
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ СЪЁМОЧНОГО УЧАСТКА	5
3 ВЫБОР СПОСОБА АЭРОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ	7
4 РАСЧЁТ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ АЭРОСЪЁМКИ	8
4.1 Высота фотографирования	8
4.2 Масштаб аэросъёмки	9
4.3 Точность фототриангуляции	10
4.4 Предельная погрешность определения высоты по ЦМР при создании фотопланов	12
4.5 Расчёт основных параметров топографической аэросъёмки	14
5 ПЛАНОВО-ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ	24
6 ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ АЭРОСЪЕМКИ 26	
6.1 Пространственная фототриангуляция	26
6.2 Цифровая модель рельефа	26
6.3 Ортотрансформирование снимков	26
6.4 Ортофотоплан	26
6.5 Съёмка рельефа и контуров по модели объекта. Камеральное дешифрирование	26
7 СОЗДАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОСЪЕМКИ В ГИС «ПАНОРАМА»	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	28
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	29

## **ВВЕДЕНИЕ**

Целью курсовой работы является изучение методов создания цифровых карт по материалам аэрофотосъемки...

Задачи ...

## **1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ**

Используя топографическую карту, дать физико-географическую характеристику объекта съёмки. Особое внимание обратить на рельеф, залесённость участка съёмки.

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ СЪЁМОЧНОГО УЧАСТКА

Весь участок аэрофотосъемки делят на наименьшие съёмочные участки, границы которых должны совпадать с рамками трапеций топографических карт и планов государственной картографической разграфки. Размеры наименьших съёмочных участков указаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Размеры наименьших съёмочных участков

Масштаб создаваемой топографической карты (плана)	Размер наименьшего съёмочного участка (в направлении маршрута)
1:100 000	Две трапеции масштаба 1:100 000
1:50 000	Одна трапеция масштаба 1:100 000
1:25 000	Одна трапеция масштаба 1:50 000
1:10 000	Одна трапеция масштаба 1:25 000
1:5 000	Одна трапеция масштаба 1:10 000
1:2 000	Одна трапеция масштаба 1:5 000
1:1 000 и 1:500	В границах участка аэрофотосъемки, но не менее 1 км <sup>2</sup>

В соответствии с заданием на аэрофотосъемку на топографической карте масштаба 1:100 000 согласно заданной номенклатуре определяют границы съёмочного участка. Границы участка обозначают сплошными линиями. Составляют картограмму (рисунок 2.1) участка аэрофотосъемки синим цветом.



Рисунок 2.1 – Картограмма участка съемки

*Пример*

Исходные данные для расчета: масштаб создаваемой топографической карты 1:10000. На основании таблицы 2.1 для масштаба создаваемой карты 1:10000 размер наименьшего съемочного участка – одна трапеция масштаба 1:25000 (У-34-37-В-а и У-34-37-В-б). На основании номенклатуры участка аэрофотосъемки на топографической карте масштаба 1:100000 определяют границы съемочного участка и составляют картограмму объекта аэрофотосъемки (масштаб картограммы 1:100000). На картограмме участок, подлежащий аэрофотосъемке, покрывают штриховкой.

Пример картограммы объекта аэрофотосъемки представлен на рисунке 2.2.

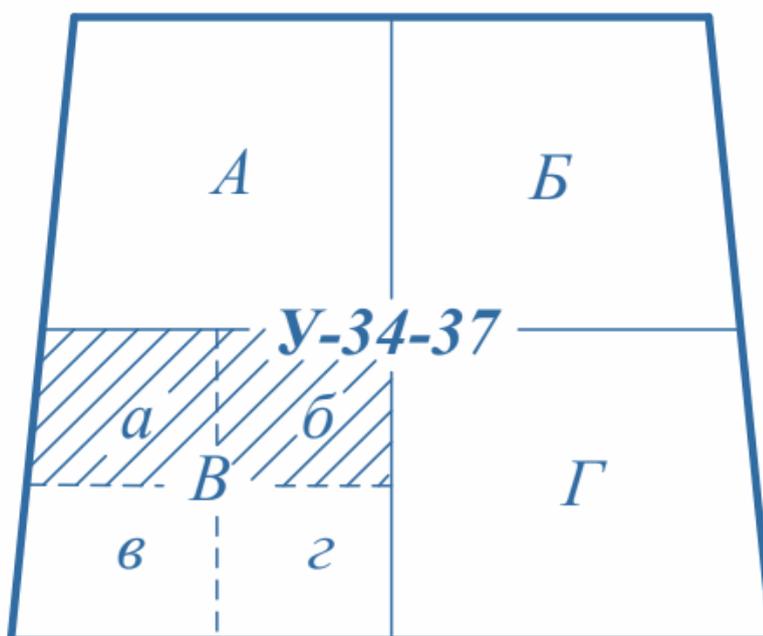


Рисунок 2.2 – Картограмма объекта съемки

### 3 ВЫБОР СПОСОБА АЭРОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

**Аэрофототопографическая съемка** предусматривает фотографирование местности аэрофотоаппаратом, установленном на воздушном носителе (самолете, вертолете, космическом аппарате), и последующую обработку полученных результатов. В зависимости от применяемых методов обработки результатов аэрофотосъемки различают два метода аэрофототопографической съемки: комбинированный и стереотопографический.

**Комбинированный метод** аэрофототопографической съемки основан на использовании свойств одиночного снимка и предполагает получение плановой части карты в камеральных условиях, а высотной части – в полевых. Ввиду значительной трудоемкости и большого объема полевых работ комбинированный метод в настоящее время свою актуальность потерял.

**Стереотопографический метод** решает задачу составления карты на основе свойств пары снимков и в современных условиях является основным методом картографирования. Применение стереотопографического метода предполагает составление плановой и высотной частей карты в камеральных условиях. В стереотопографическом методе, в зависимости от применяемых методов и приборов, различают следующие способы обработки снимков:

- *дифференцированный способ* решает задачу обработки снимков на нескольких приборах, одна часть которых (фототрансформатор) применяется для изготовления контурного фотоплана, а другая часть (стереометр) – для рисовки рельефа (горизонталей);

- *универсальный способ* обработки снимков основан на применении методов и приборов, позволяющих по результатам обработки пары снимков определять одновременно плановые координаты и высоты точек. Все процессы такой фотограмметрической обработки выполняются на одном приборе;

- *компьютерный способ* обработки снимков предполагает обработку цифровых изображений с помощью компьютеров или специализированных устройств, построенных на цифровых сигнальных процессорах. При этом под обработкой изображений понимается не только улучшение зрительного восприятия изображений, но и классификация объектов, выполняемая при анализе изображений.

**Вывод:** *обосновать выбор метода аэротопографической съемки и способа обработки снимков.*

## 4 РАСЧЁТ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ АЭРОСЪЁМКИ

При создании топографической карты масштаба  $1 : M$  с сечением  $h_{\text{сеч}}$  рельефа горизонталями с помощью стереофототопографической съёмки необходимо правильно рассчитать технические параметры аэросъёмки, так как точность создаваемой карты и её контурная нагрузка определяется точностью и дешифровочными возможностями снимков. Для расчёта технических параметров топографической аэросъёмки необходимо установить **масштаб аэросъёмки  $1 : m$ , высоту фотографирования  $H$  и фокусное расстояние  $f$**  фотокамеры. Значения этих параметров вначале выбирают приближенно, а затем уточняют путём подстановки в равенство  $H = fm$ . **Высота фотографирования и фокусное расстояние выбирается исходя из задания на курсовую работу. Необходимо уточнить параметры.**

### 4.1 Высота фотографирования

Первое на что надо обратить внимание – это высота фотографирования  $H$ , которая определит размер пространственного разрешения снимка на местности  $R$ . Размер пространственного разрешения в свою очередь зависит от масштаба создаваемой карты  $M_k$ . Если основываться на требованиях Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов (Далее по тексту Инструкция), то разрешение снимка определяется формулой:

$$R = 0,07M_k$$

В свою очередь высота фотографирования определяется по формуле

$$H = R \frac{f}{r}$$

где  $r$  – физический размер пикселя камеры, мкм.

**Пример:**

Масштаб создаваемой карты – 1:2000.

$$R = 0,07 \cdot 2000 = 140 \text{ мм} = 14 \text{ см}$$

Для карты масштаба 1: 2000, разрешение съемки должно быть не хуже 14 см. Так, если имеется съемочная камера с фокусным расстоянием  $f$  равным 50 мм и физическим размером пикселя камеры  $r = 5$  мкм, то высота фотографирования:

$$H = R \frac{f}{r} = 140 \text{ мм} \frac{50 \text{ мм}}{0,005 \text{ мм}} = 1400000 \text{ мм} = 1400 \text{ м}$$

**Вывод:** согласно заданию на курсовую работу, высота фотографирования  $H = 1200$  м, что не превышает расчетное значение высоты фотографирования.

## 4.2 Масштаб аэросъемки

**Масштаб аэросъемки выбирают, исходя из масштаба создаваемой топографической карты.** При этом необходимо масштаб аэросъемки выбрать как можно мельче масштаба карты. Это объясняется тем, что уменьшение масштаба аэросъемки сокращает число снимков и, следовательно, уменьшает затраты на аэросъемочные, геодезические и камеральные фотограмметрические работы. Однако уменьшение масштаба аэросъемки приводит к снижению точности фотограмметрических измерений и ухудшению дешифровочных возможностей снимков, поэтому в зависимости от масштаба создаваемой карты в таблице 4.1 приведены применяемые в топографической аэросъемке значения отношений масштабов карты и снимков.

Таблица 4.1 – Значения отношений масштабов карты и снимков, применяемые в топографической аэросъемке

1:М	1:100000	1:25000	1:10000	1:5000	1:2000	1:1000	1:500
$\frac{m}{M}$	0,6-1,0. 0,3	1,2-2,5	1,2-3,0	1,2-4,0	1,5-5,0	3,0-5,0	3,3-6,0

Из приведенных величин  $m/M$  видно, что если для крупномасштабных карт аэросъемку проводят в более мелких масштабах, то с уменьшением масштаба карты расхождение становится не столь большим, и для масштаба 1:100000 аэросъемка производится даже в более крупном масштабе. В то же время для того, чтобы камеральное дешифрирование позволяло выявить до 75% топографических объектов, которые должны быть изображены на карте заданного масштаба, масштаб аэросъемки не должен быть мельче 1:30000. Если при создании крупномасштабных карт эта проблема не возникает, то, например,

при создании карты масштаба 1:100000 аэросъемку выполняют двумя фотокамерами в двух масштабах. Снимки мелкого масштаба используют для фотограмметрической обработки, а снимки крупного масштаба, примерно 1:30000, для дешифрирования.

### Пример

Необходимо рассчитать масштаб аэросъемки по формуле  $m = \frac{H}{f}$  и проверить соответствие значения отношений масштаба карты и снимков (таблица 4.1).

Для масштаба создаваемой карты 1:2000 значение отношений масштабов согласно таблице 4.1 равно 1,5-5,0.

$$m = \frac{H}{f} = \frac{1200000}{50} = 24000$$

$$\frac{m}{M} = \frac{24000}{2000} = 12$$

что не согласуется с требованиями таблицы 4.1. Необходимо изменить высоту фотографирования.

$$m = \frac{H}{f} = \frac{500000}{50} = 10000$$

$$\frac{m}{M} = \frac{10000}{2000} = 5$$

**Вывод:** необходимо сделать вывод! Если значение отношений масштабов не согласуется с таблицей 4.1 изменить исходную высоту фотографирования.

### 4.3 Точность фототриангуляции

**Точность определения плановых и высотных координат по стереопаре снимков вычисляется по формулам:**

$$m_X = \frac{H}{f} m_x, \quad m_Y = \frac{H}{f} m_y, \quad m_Z = \frac{H}{b} m_p.$$

Сначала вычисляют базис фотографирования  $b$  в масштабе снимка, задаваясь продольным перекрытием  $P_x$  между снимками:

$$b = \frac{l_x(100\% - P_x)}{100\%}$$

где  $l_x$  – формат снимка вдоль оси  $x$ .

Затем вычисляем размер пикселя по формуле:

$$\Delta = \frac{H}{f}$$

### Пример

Точность измерений координат и параллаксов принять равной 0,5 пикселя, т.е.  $m_x = m_y = m_p = m_q = 0,5$  пикселя. В этом случае размер пикселя, надо умножить на 0,5.

Стереопара снимков получена цифровой среднеформатной камерой Hasselblad H4d 60 с размером пикселя матрицы 6 мкм;

- фокусное расстояние  $f = 81,8$  мм или 13633 пикселя;
- формат кадра  $40,2 \times 53,7$  мм или  $6708 \times 8956$  в пикселях, соответственно;
- короткая сторона кадра направлена вдоль полета;
- продольное перекрытие  $P = 60\%$ .

$$\Delta = \frac{H}{f} = \frac{2000}{13633} = 0,15 \text{ м}$$

$$b = \frac{l_x(100\% - P_x)}{100\%} = \frac{100 - 60}{100} 40,2 = 16,08 \text{ мм}$$

$$\frac{100 - 60}{100} 6708 = 2683 \text{ пикселя}$$

$$m_X = m_Y = \frac{H}{f} m_x = \frac{2000}{13633} 0,5 = 0,07 \text{ м}$$

$$m_Z = \frac{H}{b} m_p = \frac{2000}{2683} 0,5 = 0,37 \text{ м}$$

Поскольку в инструкции по фотограмметрическим работам принято указывать точность плановых координат вдоль радиуса-вектора, рассчитаем её по формуле

$$m_{XY}^2 = m_X^2 + m_Y^2.$$

При  $m_X = m_Y$   $m_{XY} = m_X \sqrt{2}$

Или  $m_{XY} = 0,07 \sqrt{2}$  м

**В соответствии с инструкцией по фотограмметрическим работам, средние расхождения на опорных точках после уравнивания фототриангуляции должны удовлетворять следующим требованиям:**

а) остаточные средние расхождения плановых координат опорных точек должны быть не хуже 0,2 мм, умноженные на знаменатель масштаба карты  $M_K$ , т.е.  $m_{XY} = 0,2 M_K$ .

б) остаточные средние расхождения высот не должны превышать 0,15 высоты сечения рельефа, т.е.  $m_Z = 0,15 h_{\text{сеч}}$ .

**Пример:**

Для карты масштаба 1:1000 и сечением рельефа  $h_{\text{сеч}} = 1$  м получаем:

$$m_{XY} = 0,2 \text{ мм } M_K = 0,2 \cdot 1000 = 0,2 \text{ м}$$

$$m_Z = 0,15 h_{\text{сеч}} = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ м}$$

Приведенные расчёты показывают, что точность в плане вполне обеспечивается, поскольку расчётное значение ожидаемой плановой точности 0,2 м, а вот расчётная точность определения высот – 0,15 м более чем в два раза ниже требований 0,37 м.

Чтобы удовлетворить требованиям точности по высоте необходимо выполнить аэросъёмку, например, с высоты 800 м. Тогда расчётная точность определения высоты будет следующая:

$$m_Z = \frac{H}{b} m_p = \frac{800}{2683} 0,5 = 0,15 \text{ м}$$

Другие способы повышения точности определения высоты могут быть связаны с увеличением базиса фотографирования или повышением точности измерений координат и параллаксов.

**Вывод:**

#### 4.4 Предельная погрешность определения высоты по ЦМР при создании фотопланов

Можно выделить три основные задачи построения ЦМР на ЦФС:

- построение горизонталей для отображения на топографических картах,
- построение матрицы высот для ортофототрансформирования снимков и создания фотоплана,
- построение модели рельефа для решения прикладных задач.

В зависимости от требований к создаваемой ЦМР, особенностей материала и функциональных возможностей ЦФС можно выделить следующие способы построения ЦМР:

- трассировка горизонталей по стереоскопическим моделям,
- набор пикетов и рисовка структурных линий рельефа по стереоскопическим моделям,
- набор пикетов в автоматическом режиме с заданными оператором параметрами с последующей редакцией.

Информация о рельефе, необходимая для цифрового трансформирования снимков, может быть получена в результате стереофотограмметрической обработки снимков или по цифровым моделям рельефа для существующих топографических карт и планов.

Точность и плотность узлов ЦМР должна обеспечивать определение высот элементарных участков цифрового трансформированного снимка с погрешностями (в м) не более  $\Delta h_{\text{пред}}$ .

*Для заданных параметров фотокамеры и аэросъёмки вычислить предельную погрешность определения высоты  $\Delta h_{\text{пред}}$  по ЦМР при создании фотопланов и дать рекомендации по способу и точности построения ЦМР.*

**Пример:**

Формула вычисления предельной погрешности определения высоты берется из инструкции по выполнению фотограмметрических работ

$$\Delta h_{\text{пред}} = \frac{0,3fM_{\text{к}}}{r}$$

где радиус рабочей площади снимка  $r$  определяется по формуле:

$$r = \sqrt{\left(\frac{l_x}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_y}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{40,2}{2}\right)^2 + \left(\frac{53,7}{2}\right)^2} = 33,5 \text{ мм}$$

Тогда при создании фотоплана отвечающего требованиям точности карты масштаба 1:1000 получим:

$$\Delta h_{\text{пред}} = \frac{0,3 \cdot 1000 \cdot 81,8}{33,5} = 0,7 \text{ м.}$$

**Вывод:** полученный результат означает, что если перепад высот в пределах Рабочей площади данного снимка не превышает двойной величины  $\Delta h_{\text{пред}}$ , ( $2 \cdot 0,7 = 1,4$  м), то цифровое фототрансформирование снимка можно выполнить на среднюю плоскость (среднюю высоту местности в пределах данного снимка). В противном случае следует создавать матрицу высот с точностью определения высот не больше 0,7 м.

#### 4.5 Расчёт основных параметров топографической аэросъёмки

Для расчета плановой аэрофотосъемки участка местности необходимо иметь следующие исходные материалы и параметры:

- топографическая карта масштаба 1: M (рабочая карта);
- номенклатура съемочного участка;
- масштаб фотографирования (1: m);
- масштаб создаваемой топографической карты (1: M);
- фокусное расстояние камеры аэрофотоаппарата (f);
- формат кадра ( $l_x \cdot l_y$ );
- нормативное продольное перекрытие ( $P_{x \text{ норм}}$ );
- крейсерская скорость самолета (W).

Наименьшие съемочные участки объединяются в один при условии, что его размеры не будут превышать средних размеров, а разность высот отметок средних плоскостей трапеций, входящих в участок, не будет превышать (отметки командных высот и урезов воды в расчет не берут):

- для равнины  $0,1H_{\text{ср}}$ .
- для холмистой и горной местности  $0,2H_{\text{ср}}$ .

Рельеф считается равнинным, если разности отметок точек  $A_{\text{max}} - A_{\text{min}} \leq 50$  м, холмистым, если  $A_{\text{max}} - A_{\text{min}} = 50 \dots 200$  м, и горным, если  $A_{\text{max}} - A_{\text{min}} > 200$  м.

Отметку средней плоскости трапеции определяют по формуле

$$A_{\text{ср.пл.}} = (A_{\text{max}} + A_{\text{min}})/2,$$

где  $A_{\text{max}}$  и  $A_{\text{min}}$  – самая высокая и самая низкая отметки точек в пределах трапеции.

Среднюю высоту фотографирования  $H_{\text{ср}}$  определяют по формуле

$$H_{\text{ср}} = mf,$$

где  $m$  – знаменатель масштаба аэрофотосъемки;

$f$  – фокусное расстояние камеры аэрофотоаппарата.

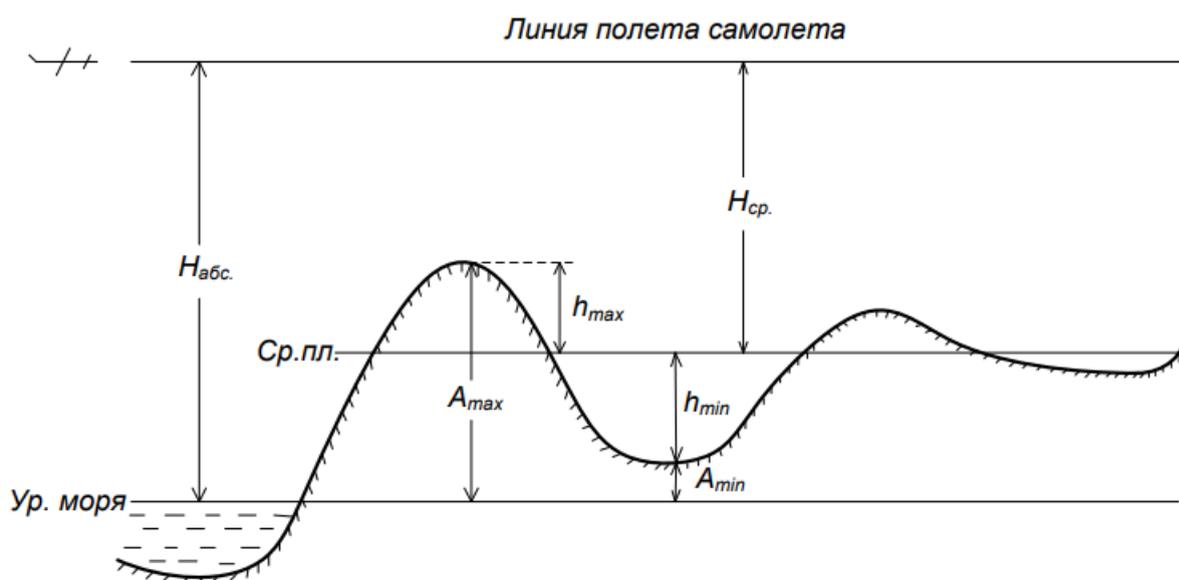


Рисунок 5.2

Если при обработке холмистой и горной местности планируется проведение стереофотограмметрических работ, то вначале аналогично определяют отметку средней плоскости участка  $A_{\text{ср.пл.}}$  для каждой съемочной трапеции, а затем их группируют в съемочные участки так, чтобы внутри каждого участка разности отметок  $A_{\text{max}}$  и  $A_{\text{min}}$  были наименьшими и не превышали пределов, указанных в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Масштаб аэрофотосъемки	Рельеф на съёмочном участке	
	равнинный	холмистый и горный
1:2 000 – 1:8 000	$0,025H_{\text{ср}}$	$0,14H_{\text{ср}}$
1:10 000 – 1:30 000	$0,025H_{\text{ср}}$	$0,12H_{\text{ср}}$

Определившись с границами участков в зависимости от величины разности высот отметок средних плоскостей трапеций, приступают к дальнейшим расчетам.

Определяют размеры участка аэрофотосъемки на местности по формулам (либо воспользоваться SASPlanet):

$$L_x = l_1 \cdot M;$$

$$L_y = l_2 \cdot M,$$

где  $L_x$  – длина участка;

$L_y$  – ширина участка;

$l_1$  – длина участка на карте;

$l_2$  – ширина участка на карте;

$M$  – знаменатель масштаба карты.

Измерения на карте длин отрезков производят с точностью до десятых долей миллиметра. Длину и ширину участка съемки определяют в километрах.

Определяют отметку средней плоскости участка

$$A_{\text{ср.пл.}} = \frac{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}{2},$$

где  $A_{\text{max}}$  и  $A_{\text{min}}$  – самая высокая и самая низкая отметки точек на съёмочном участке без учета командных высот и урезов воды.

Определяют максимальное превышение над средней плоскостью участка

$$h_{\text{max}} = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}}{2}.$$

Определяют абсолютную высоту фотографирования с учетом ранее вычисленной средней высоты фотографирования

$$H_{\text{абс}} = H_{\text{ср}} + A_{\text{ср.пл.}}$$

Определяют высоту полета над аэродромом

$$H_{\text{а}} = H_{\text{абс}} - A_{\text{а.}}$$

где  $A_{\text{а}}$  – отметка аэродрома, которую берут с карты.

Определяют продольное перекрытие исходя из нормативного. Если нормативное продольное перекрытие 60%, то для расчета используют соответственно следующую формулу

$$P_x = 62\% + 38\% \cdot \frac{h_{\text{max}}}{H_{\text{ср}}}$$

Для заданного продольного перекрытия установлены минимальные продольные перекрытия, значения которых даны в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Заданное $P_x$ , %	$P_{x \text{ min}}$ , %	$h_{\text{max}}/H_{\text{ср}} < 0,2$	$h_{\text{max}}/H_{\text{ср}} > 0,2$	$h_{\text{max}}/H_{\text{ср}} > 0,3$
60	56	66	70	-

Определяют величину поперечного перекрытия, которое задается в зависимости от масштаба аэрофотосъемки и рельефа местности и не должно отклоняться от заданного (таблица 4.4).

Таблица 4.4

Масштаб аэрофотосъемки	Поперечное перекрытие $P_y$		
	Расчетное $P_y$ , %	Минимальное $P_y$ , %	Максимальное $P_y$ , %
Крупнее 1:10 000	$40 + 60h_{\text{max}}/H_{\text{ср}}$	20	+20
1:10 000 – 1:25 000	$35 + 65h_{\text{max}}/H_{\text{ср}}$	20	+15

Мельче 1:25 000	$30+70h_{max}/H_{cp}$	20	+10
-----------------	-----------------------	----	-----

Для выдерживания заданного поперечного перекрытия необходимо строго выдерживать расчетную высоту фотографирования, выполнять маневр захода на маршрут так, чтобы сразу в начале маршрута было обеспечено заданное поперечное перекрытие и точно на заданном расстоянии от предыдущего маршрута проложить очередной аэрофотосъемочный маршрут. Это расстояние называется поперечным базисом фотографирования, обозначается  $B_y$  и равно расстоянию между осями маршрутов на местности. В масштабе аэрофотоснимка поперечный базис обозначается  $b_y$ .

Определяют продольный и поперечный базисы фотографирования в масштабе аэрофотоснимка:

$$b_x = \frac{l_x(100\%-P_x)}{100\%};$$

$$b_y = \frac{l_y(100\%-P_y)}{100\%}.$$

Определяют продольный и поперечный базисы фотографирования на местности:

$$B_x = b_x \cdot m;$$

$$B_y = b_y \cdot m.$$

Определяют количество маршрутов на съемочном участке

$$k = \frac{L_y}{B_y} + 1.$$

Определяют количество аэрофотоснимков в маршруте

$$n = \frac{L_x}{B_x} + 3.$$

Определяют количество аэрофотоснимков на весь съемочный участок

$$N = nk.$$

При расчете количества маршрутов и количества аэрофотоснимков в маршруте полученные результаты округляют до целых чисел в большую сторону.

Определяют интервал фотографирования (временной интервал между двумя последовательными открытиями затвора фотокамеры) вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{B_x}{W},$$

где  $W$  – скорость самолёта.

Определяют длину всех маршрутов с учетом обеспечения границ участка фотоизображением

$$L = k(L_x + 3B_x).$$

К полученной расчетной длине всех маршрутов следует добавить километры пути на долет до участка съемки, возвращение на аэродром, перелеты с участка на участок, на выполнение пробных аэрофотоснимков.

Определяют съемочное время

$$T = \frac{L}{W}.$$

К полученному расчетному времени добавляется 15% (в районах с высотами до 2000 м) или 20% (в высокогорных районах) на долеты и возвращение, для полетов на рекогносцировку объекта съемки и разведку погоды, на перезаходы с маршрута на маршрут и аэросъемочные промеры.

Определяют площадь, покрываемую одним аэрофотоснимком

$$S = l_x \cdot l_y \cdot m^2.$$

Определяют рабочую площадь аэрофотоснимка. На рабочей площади аэрофотоснимка геометрические и фотометрические искажения минимальны.

Рабочую площадь аэрофотоснимка вычисляют по формуле

$$S_{\text{раб}} = B_x \cdot B_y.$$

Определяют площадь всего фотографируемого участка

$$S_{\text{уч}} = L_x \cdot L_y.$$

Определяют удаление оси первого маршрута от границы участка

$$l'_y = \frac{B_y(k-1) - L_y}{2}.$$

Определяют удаление центра первого аэрофотоснимка от границы участка по оси маршрута

$$l'_x = \frac{B_x(n-1) - L_x}{2}.$$

Расчетные параметры аэрофотосъемки сводят в бланк технического проекта со строгой выдержкой индексации параметров аэрофотосъемки и единиц измерений (рисунок 5.3).

### Пример расчета

Исходные данные для расчета:

- топографическая карта У-34-37-В (рабочая карта);
- номенклатура съемочного участка (У-34-37-В-а, У-34-37-В-б);
- масштаб аэрофотосъемки 1:20 000;
- масштаб создаваемой топографической карты 1:10 000;
- фокусное расстояние камеры аэрофотоаппарата 100 мм;
- формат кадра 18 x 18 см;
- нормативное продольное перекрытие 60%;
- съемочная скорость самолета 300 км/час.

В данном варианте масштаб создаваемой топографической карты 1:10000.

Исходя из таблицы 5.1 получается два наименьших съемочных участка – две трапеции масштаба 1:25 000 – это У-34-37-В-а и У-34-37-В-б. На каждой из этих трапеций определяют отметки средних плоскостей  $A_{\text{ср.пл.}}$ . Для этого на каждой трапеции находят на карте самую высокую отметку точки  $A_{\text{max}}$  и самую низкую  $A_{\text{min}}$  (командные высоты и урезы воды в расчет не берут).

На трапеции **У-34-37-В-а**:

$$A_{\text{max}} = 236,4 \text{ м}$$

$$A_{\text{min}} = 131,3 \text{ м}$$

$$A_{\text{1ср.пл.}} = \frac{236,4 \text{ м} + 131,3 \text{ м}}{2} = 183,8 \text{ м}$$

$$A_{\text{max}} - A_{\text{min}} = 236,4 \text{ м} - 131,3 \text{ м} = 105,1 \text{ м}$$

$$105,1 > 50 \text{ м}$$

На трапеции **У-34-37-В-б**:

$$A_{\text{max}} = 258,3 \text{ м}$$

$$A_{\text{min}} = 157,2 \text{ м}$$

$$A_{\text{2ср.пл.}} = \frac{258,3 \text{ м} + 157,2 \text{ м}}{2} = 207,8 \text{ м}$$

$$A_{\text{max}} - A_{\text{min}} = 258,3 \text{ м} - 157,2 \text{ м} = 101,1 \text{ м}$$

$$101,1 > 50 \text{ м}$$

Поскольку разности отметок точек  $A_{\text{max}}$  и  $A_{\text{min}}$  больше 50 м для одной трапеции и больше 50 м для другой, но меньше 200 м, то рельеф считается холмистым для обеих трапеций. Исходя из высоты рельефа, чтобы обе трапеции можно было объединить в один съемочный участок, абсолютная разность отметок средних плоскостей трапеций не должна превышать  $0,2H_{\text{ср.}}$ , то есть:

$$A_{\text{1ср.пл.}} - A_{\text{2ср.пл.}} \leq 0,2H_{\text{ср.}}$$

$$183,8 \text{ м} - 207,8 \text{ м} = -24,0 \text{ м}$$

$$H_{\text{ср.}} = 20000 * 10 = 2000 \text{ м}$$

$$0,2 \cdot 2000 \text{ м} = 400 \text{ м}$$

$$24 \text{ м} < 400 \text{ м}$$

Исходя из полученного неравенства обе трапеции объединяют в один съемочный участок и определяют его длину и ширину.

Длина участка на карте  $l_1 = 16,2$  см. Ширина участка на карте  $l_2 = 9,2$  см.

Длина участка на местности  $L_x = 16,2 \text{ см} \cdot 100000 = 16,2$  км.

Ширина участка на местности  $L_y = 9,2 \text{ см} \cdot 100000 = 9,2$  км.

Определяют отметку средней плоскости всего съемочного участка, для чего в пределах всего участка находят на карте самую высокую отметку точки  $A_{max}$  и самую низкую  $A_{min}$

$$A_{max} = 258,3 \text{ м}$$

$$A_{min} = 131,3 \text{ м}$$

$$A_{\text{ср.пл.}} = \frac{258,3 \text{ м} + 131,3 \text{ м}}{2} = 194,8 \text{ м} = 195 \text{ м}$$

Определяют максимальное превышение над средней плоскостью участка

$$h_{max} = \frac{258,3 \text{ м} - 131,3 \text{ м}}{2} = \pm 63,5 \text{ м} = \pm 64 \text{ м}$$

Определяют абсолютную высоту фотографирования над уровнем моря

$$H_{\text{абс}} = 2000 \text{ м} + 195 \text{ м} = 2195 \text{ м}$$

Определяют высоту полета над аэродромом

$$H_a = 2195 \text{ м} - 80 \text{ м} = 2115 \text{ м}$$

Определяют величину продольного перекрытия, исходя из нормативного 60 %

$$P_x = 62\% + 38\% \cdot \frac{64 \text{ м}}{2000 \text{ м}} = 63,2\% = 63\%$$

Определяют величину поперечного перекрытия, исходя из масштаба аэрофотосъемки

$$P_y = 35\% + 65\% \cdot \frac{64 \text{ м}}{2000 \text{ м}} = 35\% + 2,1\% = 37,1\% = 37\%$$

Определяют продольный и поперечный базисы фотографирования в масштабе аэрофотоснимка:

$$b_x = \frac{180 \text{ мм} (100\% - 63\%)}{100\%} = 66,6 \text{ мм} = 67 \text{ мм}$$

$$b_y = \frac{180 \text{ мм} (100\% - 37\%)}{100\%} = 113,4 \text{ мм} = 113 \text{ мм}$$

Определяют продольный и поперечный базисы фотографирования на местности

$$B_x = 67 \text{ мм} \cdot 20000 = 1340 \text{ м}$$

$$B_y = 113 \text{ мм} \cdot 20000 = 2260 \text{ м}$$

Определяют количество маршрутов на съемочном участке

$$k = \frac{9200 \text{ м}}{2260 \text{ м}} + 1 = 5,1 = 6 \text{ маршрутов}$$

Определяют количество аэрофотоснимков в маршруте

$$n = \frac{16200 \text{ м}}{1340 \text{ м}} + 3 = 15,1 = 16 \text{ кадров}$$

Определяют количество аэрофотоснимков на весь съемочный участок

$$N = 16 \cdot 9 = 96 \text{ кадров}$$

Определяют интервал фотографирования

$$\tau = \frac{1340 \text{ м}}{300 \text{ км/ч}} = 16,1 \text{ сек.} = 16 \text{ сек.}$$

Определяют длину всех маршрутов с учетом обеспечения границ участка фотоизображением

$$L = 6(16200 \text{ м} + 3 \cdot 1340 \text{ м}) = 121320 \text{ м} = 122 \text{ км}$$

Определяют съемочное время

$$T = \frac{122 \text{ км}}{300 \text{ км/ч}} = 24,4 \text{ мин.} = 25 \text{ мин.}$$

Определяют площадь, покрываемую одним аэрофотоснимком

$$S = 18 \text{ см} \cdot 18 \text{ см} \cdot 20000^2 = 12,96 \text{ км}^2$$

Определяют рабочую площадь аэрофотоснимка.

$$S_{\text{раб}} = 1340 \text{ м} \cdot 2260 \text{ м}$$

Определяют площадь всего фотографируемого участка

$$S_{\text{уч}} = 16,2 \text{ км} \cdot 9,2 \text{ км} = 149,0 \text{ км}^2$$

Определяют удаление оси первого маршрута от границы участка

$$l'_y = \frac{2260 \text{ м} (6-1) - 9200 \text{ м}}{2} = 1050 \text{ м}$$

Определяют удаление центра первого аэрофотоснимка от границы участка по оси маршрута

$$l'_x = \frac{1340 \text{ м} (16-1) - 16200}{2} = 1950 \text{ м}$$

## 5 ПЛАНОВО-ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ

### **Требования к густоте и размещению опорных точек.**

Требования к числу и размещению опорных точек определяются способом построения пространственных сетей фототриангуляции, параметрами аэрофотосъемки и условиями местности.

**Опорной точкой (опознаком)** называют любую контурную точку, опознанную на аэроснимке и местности, координаты которой определены по результатам геодезических измерений. В качестве таких точек используют углы перекрестки дорог, резкие изгибы промоин и тропинок, канав, которые можно бесспорно опознать на аэроснимке с ошибкой не более **0,1** мм.

Процесс опознавания опорных точек и определения их координат геодезическими методами называется **привязкой аэроснимков**. При этом опорные точки могут быть определены только в плане, только по высоте или в плане и по высоте. В первом случае привязку называют плановой, во втором - высотной, а в третьем - планово-высотной.

Плановые координаты опорных точек определяют геодезическими методами – прямыми, обратными и комбинированными засечками или проложением теодолитных ходов, либо по результатам GPS-измерений. Высоты опорных пунктов определяют проложением ходов геометрического или тригонометрического нивелирования.

Опорные точки могут обеспечивать либо каждый снимок, либо некоторое их количество. В первом случае речь идет о *сплошной* привязке, используемой для фотограмметрической обработки отдельных снимков или стереопар, а во втором – о *разреженной*. Сеть опорных точек, полученных при разреженной привязке, в дальнейшем сгущают путем построения сетей пространственной фототриангуляции с тем, чтобы в итоге обеспечить геодезическими данными каждый снимок или каждую стереопару.

**Расчёт съёмочного обоснования.** Для выполнения трансформирования аэроснимков, необходимо каждый снимок обеспечить опорными точками. Положение этих точек может быть получено камерально, путем построения сетей фототриангуляции, или геодезическими методами со сплошной привязкой аэроснимков.

При построении сетей фототриангуляции в поле определяют только те точки (опознаки), которые впоследствии будут использованы для ориентирования построенной сети. Количество плановых опознаков, определяемых в поле, зависит от масштаба создаваемой карты, ее точности, масштаба залета и других факторов. Плановые опознаки, как правило, располагаются рядами поперек аэросъемочных маршрутов на поперечных

перекрытиях.

**Расчет расстояний между плановыми и высотными опознаками** осуществляется по следующей формуле где  $n$  это  $n_{xy}$  или  $n_z$

$$L = \frac{nbH}{f}$$

При расчёте числа базисов  $n$  расчёт  $n_{xy}$  и  $n_z$  выполняют до целых чисел с округлением в сторону увеличения по формуле

$$n_{xy} = \sqrt[3]{\left(\frac{fm_{xy}}{0,2Hm_{xy}}\right)^2}$$

$$n_z = \sqrt[3]{\left(\frac{bm_z}{0,14Hm_p}\right)^2}$$

где  $m_{xy}$  и  $m_z$  задаются инструкцией (раздел «фотограмметрическое сгущение опорной сети») (0,02м);

$m_{xy}$  и  $m_p$  – точности измерения планового положения точек на стереопаре и их продольных параллаксов.

## **6 ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ АЭРОСЪЕМКИ**

**6.1 Пространственная фототриангуляция**

**6.2 Цифровая модель рельефа**

**6.3 Ортотрансформирование снимков**

**6.4 Ортофотоплан**

**6.5 Съёмка рельефа и контуров по модели объекта. Камеральное дешифрирование**

## **7 СОЗДАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОСЪЕМКИ В ГИС «ПАНОРАМА»**

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фотограмметрия : учеб. для вузов / А.Г. Чибуничева [и др.]; под общ. ред. А.Г. Чибуничева. – М. : МИИГАиК, 2016. – 294 с.
2. Краснопевцев, Б.В. Фотограмметрия : метод. пособие / Б.В. Краснопевцев, В.М. Курков – М.: МИИГАиК, 2012, – 74 с.
3. Краснопевцев, Б.В. Фотограмметрия / Б.В. Краснопевцев – М. : МИИГАиК, 2008. – 160 с.
4. Назаров, А.С. Фотограмметрия / А.С. Назаров. – М. : Тетра Системе, 2006.
5. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – Мн. : БелНИЦзем, 2003. – 78 с.