

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

# ОСНОВЫ АЭРОГЕОДЕЗИИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ

*Составители Р. М. Глушкова, В. Н. Анопин*



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный  
архитектурно-строительный университет», 2013

Волгоград  
ВолгГАСУ  
2013

УДК 528.7(076.5)  
ББК 26.131я73  
О-753

**О-753** **Основы** аэрогеодезии [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторных работ / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Р. М. Глушкова, В. Н. Анопин. — Электронные текстовые и графические данные (14,3 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2013. — Учебное электронное издание : 1 CD-диск. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисковод CD-ROM; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Изложена методика оценки качества материалов аэрофотосъемки, приведены материалы по устройству фотограмметрических приборов и порядку выполнения работ, рассмотрены вопросы проектирования автомобильной дороги по аэрофотоснимкам.

Для студентов 4 курса всех форм обучения профиля «Автомобильные дороги» направления «Строительство».

Для удобства работы с изданием рекомендуется пользоваться функцией Bookmarks (Закладки) в боковом меню программы Adobe Reader.

**УДК 528.7(076.5)**  
**ББК 26.131я73**

Незаконное использование данного продукта запрещено

## Оглавление

1. Расчет параметров плановой аэро съемки .....	4
2. Оценка качества аэро съемочного залета .....	8
3. Вычисление искажений на аэро съемках, вызванных превышением точек местности .....	12
4. Приборы для получения измерительно способных стереомоделей и их использование при изыскании автомобильных дорог .....	15
4.1. Устройство линзово-зеркального стереоскопа и создание стереомодели .....	16
4.2. Вариантное трассирование автомобильной дороги .....	18
4.3. Разбивка пикетажа на оптимальном варианте трассы .....	23
4.4. Привязка трассы автомобильной дороги к опознакам .....	26
4.5. Изучение устройства стерео метра профессора Дробышева .....	30
4.6. Работа на стерео метре .....	35
4.7. Устройство стерео компаратора фирмы «КАРЛ ЦЕЙСС ЙЕНА» .....	39
Список рекомендуемой литературы .....	43

## 1. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАНОВОЙ АЭРОСЪЕМКИ

Для проектирования автомобильной дороги необходимо выполнить маршрутную, кадровую и плановую аэросъемку местности. Аэросъемку выполняют аэрофотоаппаратами (АФА) по запроектированному на карте мелкого масштаба маршруту, в котором должны быть указаны: масштаб аэроснимков  $1/m$ ; тип аэрофотоаппарата; фокусное расстояние съёмочной камеры; формат аэроснимков  $l_x \times l_y$ , см; рабочая скорость самолета  $W$ , км/ч; размеры съёмочного участка  $D \times C$ , км; наибольшая и наименьшая высоты точек местности над уровнем Балтийского моря  $A_{\max}$  и  $A_{\min}$ , м.

### **Пример**

Исходные данные:

1. Тип самолета — АН-2.
2. Тип аэрофотоаппарата — АФА-ТЭ.
3. Крейсерская скорость самолета  $W = 250$  км/ч.
4. Фокусное расстояние съёмочной камеры  $f_k = 140$  мм.
5. Масштаб аэроснимка  $1/m = 1/17\ 000$ .
6. Размеры аэроснимка  $l_x \times l_y = 18 \times 18$  см.
7. Размеры съёмочного участка  $D \times C = 22 \times 12$  км.
8.  $A_{\max} = 515$  м,  $A_{\min} = 310$  м.

Последовательность выполнения работы:

1. Определение средней высоты поверхности территории над уровнем моря, м:

$$A_{\text{cp}} = (A_{\max} + A_{\min})/2; \quad (1)$$

$$A_{\text{cp}} = (515 + 310)/2 = 825/2 = 412,5.$$

2. Вычисление превышения точек местности над средней высотой поверхности, м:

$$h = A_{\max} - A_{\text{cp}} = A_{\text{cp}} - A_{\min}; \quad (2)$$

$$h = 515 - 412,5 = 412,5 - 310 = 102,5,$$

или

$$h = (A_{\max} - A_{\min})/2; \quad (3)$$

$$h = (515 - 310)/2 = 205/2 = 102,5.$$

3. Вычисление высоты фотографирования, м, по формуле

$$H = f_{\kappa} m; \quad (4)$$

$$H = 140 \text{ мм} \cdot 17 \text{ 000 м} = 2380.$$

4. Вычисление величины продольного  $P$  и поперечного перекрытия  $Q$  (выполняется с использованием данных табл. 1).

Таблица 1

Рекомендуемые продольные и поперечные перекрытия

Масштаб фотографирования	Перекрытия	
	продольное $P$ , %	поперечное $Q$ , %
1: 5000 — 1: 9000	$64 + 50 h/H$	$36 + 50 h/H$
1: 10 000 — 1: 24 000	$62 + 50 h/H$	$34 + 50 h/H$
1: 25 000 — 1: 34 000	$60 + 50 h/H$	$32 + 50 h/H$
1: 35 000 и мельче	$60 + 50 h/H$	$30 + 50 h/H$

На основании табл. 1 вычисляются для масштаба фотографирования 1 : 17 000 проценты продольного и поперечного перекрытия по формулам

$$P = 62 \% + 50h/H; \quad (5)$$

$$Q = 34 \% + 50h/H. \quad (6)$$

Для масштаба фотографирования 1 : 17 000

$$P = 62 \% + \frac{50 \cdot 102,5}{2380} = 64,15 \%;$$

$$Q = 34 \% + \frac{50 \cdot 102,5}{2380} = 36,15 \%.$$

5. Вычисление базиса фотографирования  $b$  (расстояния между главными точками соседних снимков) (рис. 1).

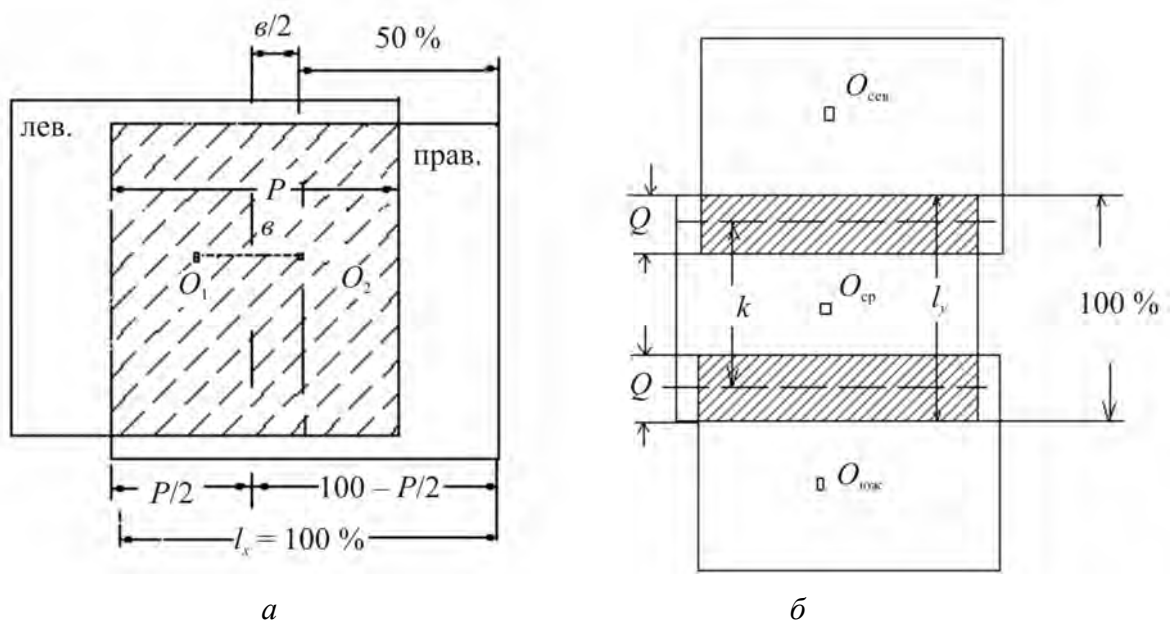


Рис. 1. Определение базиса фотографирования

На снимке

$$e = \frac{l_x}{100 \%}(100 \% - P \%); \quad (7)$$

$$e = \frac{18}{100 \%}(100 \% - 64,15 \%) = 6,39 \text{ см.}$$

На местности

$$B = em; \quad (8)$$

$$B = 6,39 \text{ см} \cdot 17\,000 = 108\,630 \text{ см} = 1086,3 \text{ м.}$$

6. Вычисление количества снимков в одном маршруте.

Длину маршрута  $D$  в направлении с запада на восток делят на величину базиса  $B$  и полученное число увеличивают на 3 снимка, чтобы на концах маршрута было по 1,5 дополнительных снимка, предназначенных для обеспечения надежности в съемке границ фотографируемого участка.

$$n = D/B + 3; \quad (9)$$

$$n = 22\,000/1086 + 3 = 20,25 + 3 = 23,25 \approx 24 \text{ снимка}$$

или

$$n = \frac{D \cdot 10^7}{l_x(100 - P)m} + 3; \quad (10)$$

$$n = \frac{2,2 \cdot 10^7}{18(100 - 64,15)17\,000} + 3 = 23,25 \approx 24 \text{ снимка.}$$

7. Вычисление количества маршрутов на съемочном участке.

Определяют на снимке ширину полосы местности, охватываемой рабочей частью аэроснимка одного маршрута  $k$  (рис. 1, б).

$$k_{\text{сн}} = \frac{l_y}{100 \%}(100 - Q); \quad (11)$$

$$k_{\text{сн}} = 0,18(100 - 36,15) = 11,493 \text{ см.}$$

Вычисляют рабочую ширину маршрута, охватываемую рабочей частью одного аэроснимка на местности  $k_1$ , по формуле

$$k_1 = k_{\text{сн}}m = \frac{l_y}{100 \%}(100 - Q\%)m; \quad (12)$$

$$k_1 = 11,493 \text{ см} \cdot 17\,000 = 195\,381 \text{ см} = 1935,81 \text{ м.}$$

Вычисляют число маршрутов съемочного участка делением его ширины  $S$  на величину  $k_1$  с добавлением единицы, чтобы каждый съемочный участок перекрывал границы соседних на 50 % ширины аэросъемочного маршрута.

$$K = \frac{C}{k_1} + 1 = \frac{C_{\text{км}} \cdot 1000}{l_y(100 - Q)m} + 1; \quad (13)$$

$$K = \frac{12000}{1953,81} + 1 = 7.$$

8. Вычисление числа аэроснимков всего съемочного участка.

$$N_3 = nK; \quad (14)$$

$$N_3 = 24 \cdot 7 = 168.$$

Для покрытия разрывов в съемке и изготовления репродукций количество аэроснимков увеличивают на 25 %:

$$N' = N + 0,25N; \quad (15)$$

$$N' = 168 + 0,25 \cdot 168 = 210.$$

9. Вычисление количества (длины) пленки (при формате аэроснимков  $18 \times 18$  см исходят из расчета  $19$  см =  $0,19$  м на один негатив).

$$X_m = 0,19N'; \quad (16)$$

$$X_m = 0,19 \cdot 210 = 39,9 \text{ м.}$$

Потребность в фотобумаге на выполнение контактной печати для плановой привязки, дешифрирования, изготовления фотосхем и фотопланов зависит от объема этих работ. Количество листов фотобумаги для накидных монтажей равно числу негативов.

10. Вычисление выдержки  $t$  — продолжительности времени, в течение которого объектив АФА открыт для фотографирования местности.

Эта величина влияет на число аэроснимков в маршруте (чтобы не получилось разрывов) и на качество изображения (смаз фотоизображения  $\delta$  должен быть не более  $0,01$  мм. При комбинированной съемке для стереоскопической обработки материалов съемки рельефа смаз (сдвиг) не должен быть более  $0,02 \dots 0,03$  мм).

$$t = \frac{\delta H}{W f_k}, \quad (17)$$

где  $\delta$  — смаз;  $H$  — высота фотографирования;  $W$  — крейсерская скорость самолета;  $f_k$  — фокусное расстояние камеры.

$$\delta = 0,01 \text{ мм} = 0,00001 \text{ м}; H = 2380 \text{ м};$$

$$W = 250 \text{ км/ч} = \frac{250000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 69,444 \text{ м/с};$$

$$f_k = 140 \text{ мм} = 0,14 \text{ м};$$

$$t = \frac{\delta H}{W f_k} = \frac{1}{\frac{\delta H}{W f_k}} = \frac{1}{69,44 \text{ м/с} \cdot 0,14 \text{ м} / 0,00001 \text{ м} \cdot 2380 \text{ м}} = \frac{1}{408} \text{ с.}$$

## 2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АЭРОСЪЕМОЧНОГО ЗАЛЕТА

К летносъемочным работам предъявляются следующие основные требования:

- должна быть обеспечена устойчивость самолета в полете;
- вибрация самолета не должна снижать резкость изображения;
- зафиксированное в барограмме колебание высоты полета в маршруте и между маршрутами не должно превышать  $\pm 25$  м;
- маршрут должен быть прямолинейным и не иметь отклонений от заданного направления (для обеспечения расчетного поперечного перекрытия).

Требования, предъявляемые к аэросъемочным работам:

1. Формат снимков —  $18 \times 18$  см.
2. Достаточная разрешающая способность объектива (зависит от  $f_k$ ). Число различных штрихов должно быть в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Зависимость разрешающей способности от фокусного расстояния объектива

Объектив с фокусным расстоянием $f_k$ , мм	В центре снимка, штр./мм	По краю, штр./мм	Размер диаптрии, мм
55...100	25	10	0,4
200 и более	35	20	0,2

3. Ошибка в выравнивании пленки в плоскость — не более 0,1 мм.
4. Углы наклона снимков — не более  $3^\circ$ .
5. Съемочные маршруты должны быть параллельны и заканчиваться за границами съемочного участка на расстоянии не менее половины базиса (0,5 в), а за границей объекта — не менее чем на один базис.
6. Обеспеченность всех маршрутов съемок показаниями статоскопа и высотомера (рис. 2).

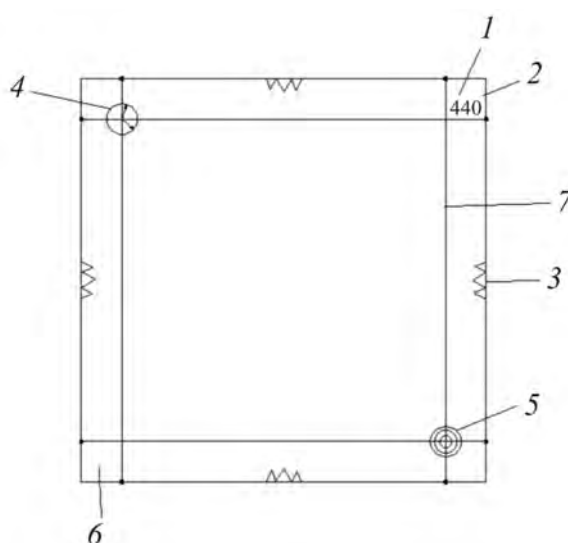


Рис. 2. Информационные показатели аэроснимка: 1 — шифр объекта (4); 2 — № снимка (40); 3 — координатные метки; 4 — показания часов (времени съемки); 5 — показания уровня, по которому берется продольный угол наклона снимка; 6 — абсцисса; 7 — ордината снимка



7. Необходимое фотографическое качество (оценивается на месте выполнения полевых работ): в рабочей части негатива не должно быть напластований, изображений облаков, царапин и других дефектов.

*Требования к контактным отпечаткам с аэронегатива:*

- а) точное соответствие негативу;
- б) достаточная четкость изображения как в центре, так и на краях;
- в) один тон изображения;
- г) один тип фотобумаги.

*Критерии оценки фотограмметрического качества:*

- а) продольное перекрытие в пределах 56...75 %;
- б) поперечное перекрытие не менее 20 %;
- в) угол  $\epsilon$  (елочка), составленный базисом снимка  $v$  и осью  $x$  снимка, не должен превышать  $3^\circ$ ;
- г) непрямолинейность маршрута (отклонение главных точек аэроснимков  $O_1, O_2, O_3, \dots$ ) от прямой, соединяющей главные точки первого и последнего снимков, не должна превышать 5 %.

Фактическая полезная площадь, зависящая от величин перекрытия, определяется по формуле

$$S_{\text{ф.сн}} = \frac{S_{\text{ф.уч}}}{N_{\text{ф.уч}}}, \quad (18)$$

где  $S_{\text{ф.уч}}$  — площадь земельного участка;  $N_{\text{ф.уч}}$  — полученное количество аэроснимков.

Оценку аэросъемки выполняют на каждый съемочный участок по фотографическому качеству аэроснимков и их числу с учетом показателей высотомера и статоскопа: «отлично» — при фактическом числе аэроснимков, не превышающем 1,07 от расчетного, 75 % аэронегативов отличного качества и удовлетворительной работе радиовысотомера и статоскопа; «хорошо» — при фактическом числе аэроснимков не более 1,15 от расчетного; «удовлетворительно» — при фактическом числе аэроснимков не более 1,25 от расчетного и их фотографическом качестве в пределах допуска.

I. Оценка *фотографического* качества (для примера берем 3 снимка в маршруте: 35, 36, 37).

Измеряют длины сторон снимков:

$$l_{x37} = 179 \text{ мм}; l_{x36} = 179 \text{ мм}; l_{x35} = 177 \text{ мм};$$
$$l_{y37} = 182 \text{ мм}; l_{y36} = 181 \text{ мм}; l_{y35} = 179 \text{ мм}.$$

Снимки имеют следующие тона изображений: № 35 — темный, № 36 и 37 — нормальный. Изображение объектов местности четкое, достаточно резкое за исключением снимка № 35, который на ЮВ затемнен.

*Примечание.* На учебных снимках нет показаний часов, круглого уровня и радиовысотомера.

Результат оценки фотографических снимков:

35 — удовлетворительное; 36 и 37 — хорошее.

## II. Оценка *фотограмметрического* качества снимков.

Последовательность выполнения работы:

1. На каждом снимке находят координатные метки, по которым определяют положение главных точек снимков  $O_{35}$ ,  $O_{36}$ ,  $O_{37}$  — проекций центра объектива аэрофотоаппарата, находящихся в центре каждого снимка (на снимке № 35 справа координатной метки нет) (рис. 3).

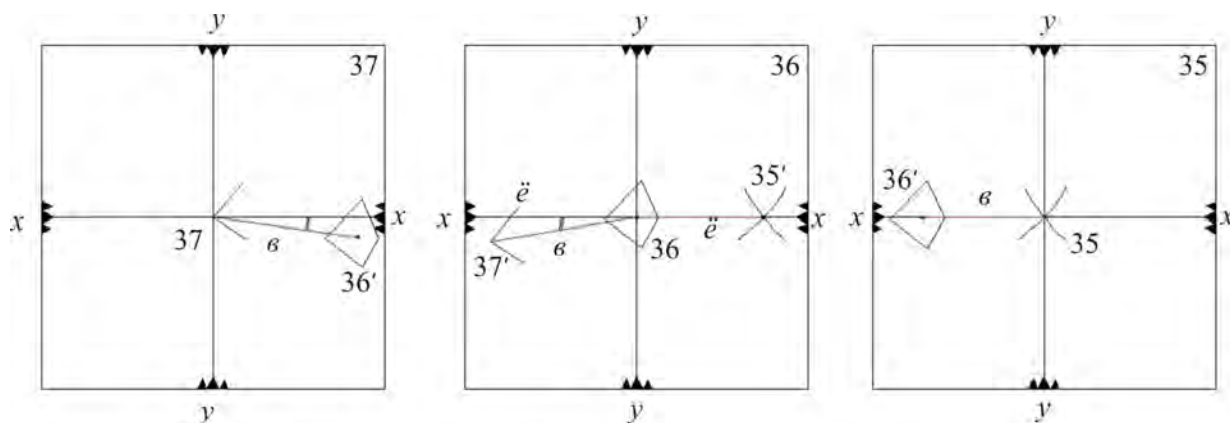


Рис. 3. Расположение главных точек, базиса и угла елочка на снимках

2. По контурам опознают главные точки соседних снимков и измеряют расстояния между ними (базисы фотографирования) (см. рис. 3):

$$b_{x(35-36)} = 70 \text{ мм}; b_{x(36-35)} = 72 \text{ мм};$$

$$b_{x(36-37)} = 64 \text{ мм}; b_{x(37-36)} = 62 \text{ мм}.$$

3. Измеряют угол елочка  $\ddot{e}$ , составленный базисом  $b$  и осью абсцисс  $xx$  (см. рис. 3):

$$\ddot{e}_{36-37} = 2,5^\circ;$$

$$\ddot{e}_{36-35} = 2,0^\circ.$$

4. Определяют разномасштабность снимков, выбрав по середине базиса два контура, и измеряют соответствующие расстояния на двух соседних снимках:

$$d_{1-2} = 124 \text{ мм (на снимке № 35);}$$

$$d_{1-2} = 124 \text{ мм (на снимке № 36);}$$

$$\Delta d = 0 \text{ мм};$$

$$\frac{\Delta d}{d_{\text{cp}}} = \frac{1}{d_{\text{cp}}/\Delta d} = \frac{1}{\infty} = 0. \quad (19)$$

Разномасштабность равна 0.

5. Определяют величину продольного перекрытия в %, совместив визуально одноименные точки соседних снимков маршрута. Перекрытие — это часть местности, сфотографированная дважды и изображенная на двух соседних снимках (рис. 4).

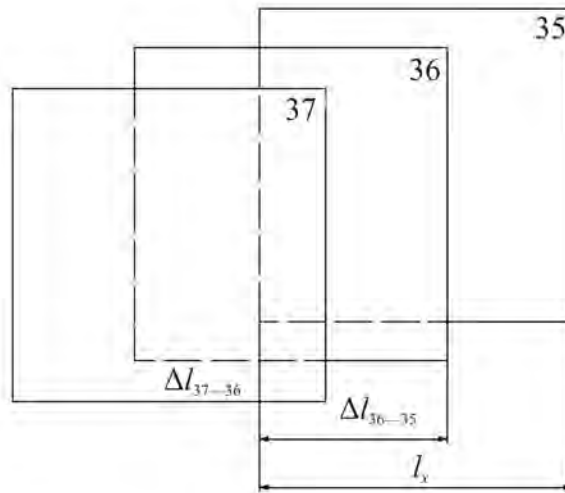


Рис. 4. Перекрытия аэроснимков

Измеряют величины перекрытия:

$$\Delta l_{35-36} = 110 \text{ мм}; \Delta l_{36-37} = 116 \text{ мм.}$$

$$P_{35-36}\% = \frac{\Delta l \cdot 100\%}{l_{x35}} = \frac{110 \cdot 100\%}{177} = 62,1\%,$$

$$P_{36-37}\% = \frac{\Delta l \cdot 100\%}{l_{x36}} = \frac{116 \cdot 100\%}{179} = 64,3\%.$$

6. Определяют непрямолинейность маршрута  $\gamma$  по 3 снимкам (рис. 5):

а) снимки монтируют в общий маршрут;

б) измеряют расстояние между крайними координатными метками начального и последнего снимков  $L_x$ ;

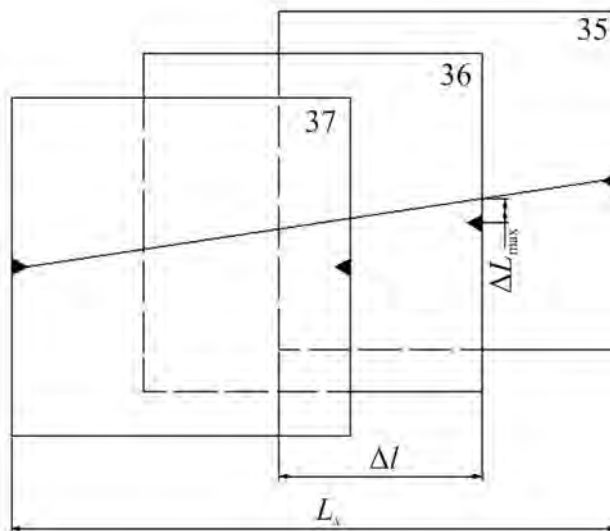


Рис. 5. Непрямолинейность маршрута

в) измеряют  $\Delta L_{x \max}$  — величину максимального отклонения координатной метки от прямой  $L_x$  (см. рис. 5);

г) вычисляют непрямолинейность маршрута

$$\gamma = \frac{\Delta L_{x \max} \cdot 100 \%}{L_x}; \quad (20)$$
$$\gamma = \frac{3 \text{ мм} \cdot 100 \%}{300 \text{ мм}} = 1 \%.$$

Оценка фотограмметрического качества — «отлично» на основании следующих показателей:

- 1) продольное перекрытие больше 56 % и меньше 75 %;
- 2) угол елочка  $\epsilon$  меньше  $3^\circ$ ;
- 3) непрямолинейность маршрута меньше 5 %.

Снимки маршрута 35, 36, 37 и т. д. пригодны к дальнейшей фотограмметрической работе.

### 3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ НА АЭРОСЪЕМКАХ, ВЫЗВАННЫХ ПРЕВЫШЕНИЕМ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ

#### *Пример*

Выписывают исходные данные:

1. Аэроснимок № 440.
2. Фокусное расстояние  $f_k = 200$  мм.
3. Высота фотографирования  $H_{\text{абс}} = 4000$  м.
4. Выбраны 3 точки, не лежащие на одной прямой.
5. Превышения выбранных точек относительно горизонтальной плоскости  $h_{1-0} = +77,9$  м;  $h_{2-0} = -64,4$  м;  $h_{3-0} = +90,7$  м.

Последовательность выполнения работ:

1. Вычерчивают схему расположения точек на снимке (рис. 6).

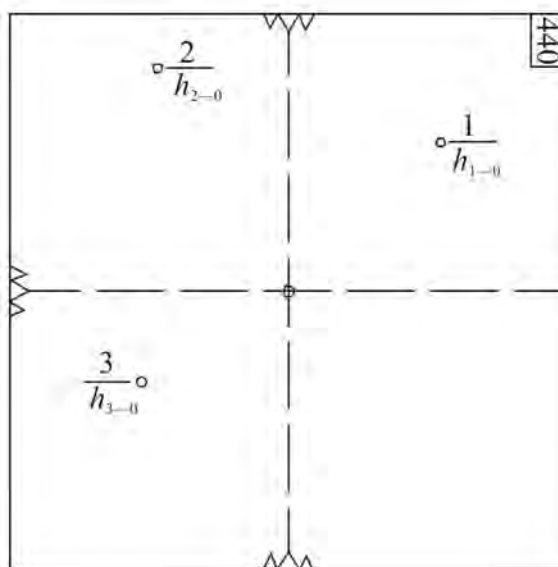


Рис. 6. Схема расположения точек на аэроснимке

2. Измеряют радиусы-векторы для всех точек (расстояния от главной точки аэроснимка до них):

$$r_{1-0} = 40 \text{ мм}; r_{2-0} = 73 \text{ мм}; r_{3-0} = 50 \text{ мм}.$$

3. По фокусному расстоянию и высоте фотографирования вычисляют масштаб снимка в главных и выбранных точках по формулам

$$\frac{1}{m_0} = \frac{f_k \text{ мм}}{H_{\text{абс}} \text{ мм}} = \frac{1}{H_{\text{абс}}/f_k}; \quad (21)$$

$$\frac{1}{m_i} = \frac{f_k}{H_{\text{абс}} - h_{i-0}}; \quad (22)$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{1}{4000000/200} = \frac{1}{20000};$$

$$\frac{1}{m_1} = \frac{200 \text{ м}}{4000 \text{ м} - 77,9 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{3922,1 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{3\,922\,100 \text{ мм}} = \frac{1}{3\,922\,100/200} = \frac{1}{19\,610};$$

$$\frac{1}{m_2} = \frac{200 \text{ м}}{4000 \text{ м} + 66,4 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{4066,4 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{4\,064\,400 \text{ мм}} = \frac{1}{40\,644\,000/200} = \frac{1}{20\,322};$$

$$\frac{1}{m_3} = \frac{200 \text{ м}}{4000 \text{ м} - 90,7 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{3909,3 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{3\,909\,300 \text{ мм}} = \frac{1}{3\,909\,300/200} = \frac{1}{19\,546}.$$

Вычисляют средний масштаб по формуле

$$\left(\frac{1}{m}\right)_{\text{cp}} = \frac{1}{(m_1 + m_2 + m_3)/3}; \quad (23)$$

$$\left(\frac{1}{m}\right)_{\text{cp}} = \frac{1}{(19\,610 + 20\,322 + 19\,546)/3} = \frac{1}{19\,326}.$$

4. Вычисляют искажения на аэроснимках  $\delta_h$ , мм, в выбранных точках, вызванных рельефом местности:

$$\delta_{h_{i-0}} = \frac{r_{i-0} h_{i-0}}{H_i}, \quad (24)$$

где  $H_i = H_{\text{абс}} - h_{i-0}$ .

$$\delta_{h_{1-0}} = \frac{40 \text{ мм} \cdot 77,9 \text{ м}}{(4000 - 77,9) \text{ м}} = +0,8 \text{ мм};$$

$$\delta_{h_{2-0}} = \frac{73 \text{ мм} \cdot (-64,4) \text{ м}}{(4000 + 64,4) \text{ м}} = -1,2 \text{ мм};$$

$$\delta_{h_{3-0}} = \frac{(50 \text{ мм} \cdot 90,7) \text{ м}}{(4000 - 90,7) \text{ м}} = +1,2 \text{ мм}.$$

5. Переносят при помощи файла точки со снимка на лист бумаги формата А4.

6. Исправляют положения выбранных точек. Для этого по радиус-вектору откладывают величины поправок  $\delta_{h-0}$  в миллиметрах в сторону главной точки при положительном знаке поправки, в противоположную — при отрицательном.

7. Соединяют выбранные точки сплошными линиями, а исправленные их положения пунктирными. Получают треугольники 1, 2, 3 и  $1_0, 2_0, 3_0$ . Вычисляют абсолютные искажения длин линий в этих треугольниках, измерив на формате А4 длины сторон треугольников.

$$\begin{array}{rcc}
 d_{1-2} = 76 \text{ мм} & d_{2-3} = 97 \text{ мм} & d_{3-1} = 90 \text{ мм} \\
 \hline
 d_{1^{\circ}-2^{\circ}} = 77 \text{ мм} & d_{2^{\circ}-3^{\circ}} = 97 \text{ мм} & d_{3^{\circ}-1^{\circ}} = 87 \text{ мм} \\
 \hline
 \Delta d_{1-2} = 1 \text{ мм} & \Delta d_{2-3} = 0 \text{ мм} & \Delta d_{3-1} = 3 \text{ мм}
 \end{array}$$

$$d_{\text{cp } 1-2} = \frac{d_{1-2} + d_{10-20}}{2} = 76,5 \text{ мм}; \quad d_{\text{cp } 2-3} = 97 \text{ мм}; \quad d_{\text{cp } 3-1} = 88,5 \text{ мм}.$$

Вычисляют относительные искажения длин:

$$f = \frac{\Delta d}{d_{\text{cp}}} = \frac{1}{d_{\text{cp}}/\Delta d}; \quad (25)$$

$$f_{1-2} = \frac{1}{76,5/1} = \frac{1}{76,5}; \quad f_{2-3} = \frac{1}{97/0} = 0; \quad f_{3-1} = \frac{1}{88,5/3} = \frac{1}{29,5}.$$

8. Вычисляют абсолютные искажения углов в каждом треугольнике.

Контроль

$$\begin{array}{rcc}
 \beta_1 = 71^{\circ} & \beta_2 = 61^{\circ} & \beta_3 = 48^{\circ} & \Sigma\beta = 180^{\circ} \\
 \hline
 \beta_{\circ 1} = 72^{\circ} & \beta_{\circ 2} = 59^{\circ} & \beta_{\circ 3} = 49^{\circ} & \Sigma\beta_{\circ} = 180^{\circ} \\
 \hline
 \Delta\beta_1 = 1^{\circ} & \Delta\beta_2 = 2^{\circ} & \Delta\beta_3 = 1^{\circ} &
 \end{array}$$

9. На формате бумаги А4 составляют чертеж, на котором показывают: координатные оси  $xx; yy$ ; главный вертикал  $VV$ ; главную горизонталь  $h_0h_0$  (рис. 7).

Находят положение точки нулевых искажений  $s$  и точки надира  $n$  на главном вертикале  $VV$ . Проводят линию неискаженных масштабов — горизонталь, проходящую через точку надира  $h_nh_n$ , приняв угол наклона  $\alpha = 2^{\circ} 45'$ .



зом рассматривают левый, а правым — правый снимки местности, сфотографированной дважды с одного базиса. В результате возникает стереоскопический эффект (стереоэффект), т. е. объемное восприятие изображения. Наиболее распространенным способом получения стереоскопической модели (стереомодели) является оптический с использованием стереоскопических приборов. Простейшим из них является линзово-зеркальный стереоскоп (ЛЗС).

#### 4.1. Устройство линзово-зеркального стереоскопа и создание стереомодели

Линзово-зеркальный стереоскоп состоит из следующих основных частей (рис. 8): 1 — большие зеркала; 2 — малые зеркала; 3 — увеличительные линзы (левая и правая); 4, 5 — левый и правый снимки стереопары, на которых изображен объект 6, 7 — стереомодель объекта; ЛГ и ПГ — левый и правый глаза наблюдателя. Большие и малые зеркала установлены под углом 45° друг к другу.

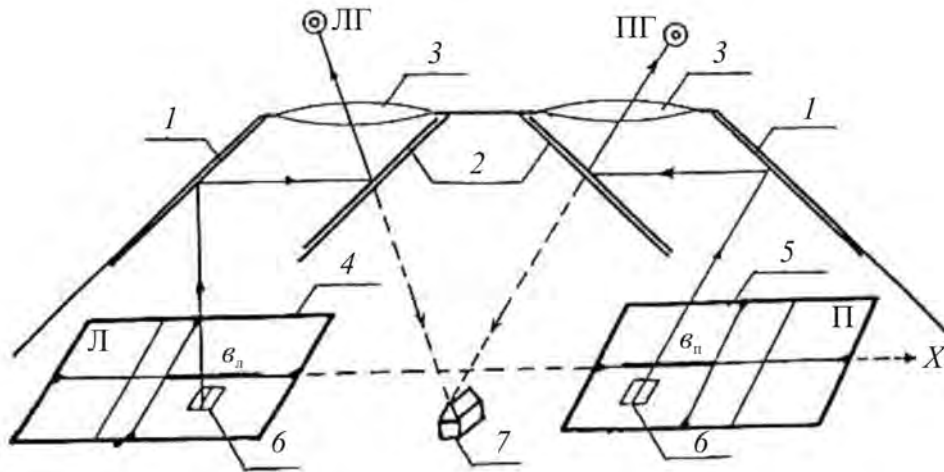


Рис. 8. Схема хода лучей в линзово-зеркальном стереоскопе

Создание стереоскопической модели местности начинают с вычисления увеличения стереоскопа  $V^x$ .

$$V^x = \frac{l_{\text{норм. зр. чел}}}{l_{\text{стойки ЛЗС}}}, \quad (28)$$

где  $l_{\text{норм. зр. чел}}$  — оптимальное расстояние нормального зрения человека;  $l_{\text{стойки ЛЗС}}$  — высота стойки стереоскопа относительно стола, на котором он установлен.

$$l_{\text{норм. зр. чел}} = 250 \text{ мм};$$

$$l_{\text{стойки ЛЗС}} = 102 \text{ мм};$$

$$V^x = \frac{250 \text{ мм}}{102 \text{ мм}} = 2,45^x.$$



При помощи стереоскопа можно получать прямой, обратный и нулевой стереоэффекты.

*Прямой стереоэффект* получают при одновременном рассматривании правого снимка правым глазом, а левого — левым при положении базиса фотографирования параллельно главному базису наблюдателя (рис. 9, а). При этом рельеф, видимый на снимках, соответствует рельефу местности.

*Обратный стереоэффект* получают, если каждый из снимков развернуть по ходу часовой стрелки на  $180^\circ$  (рис. 9, б). При этом положение перекрытия окажется снаружи и для получения стереомодели снимки сдвигают друг к другу. Рельеф местности при обратном стереоэффекте противоположен рельефу, полученному при прямом стереоэффекте (вершины воспринимаются углублениями и наоборот).

*Нулевой стереоэффект* получают при повороте снимков по часовой стрелке на  $90^\circ$  от их положения при прямом стереоэффекте (рис. 9, в). В результате наблюдатель вместо пространственной модели видит плоское изображение.

На рис. 9 стрелками показано движение снимков.

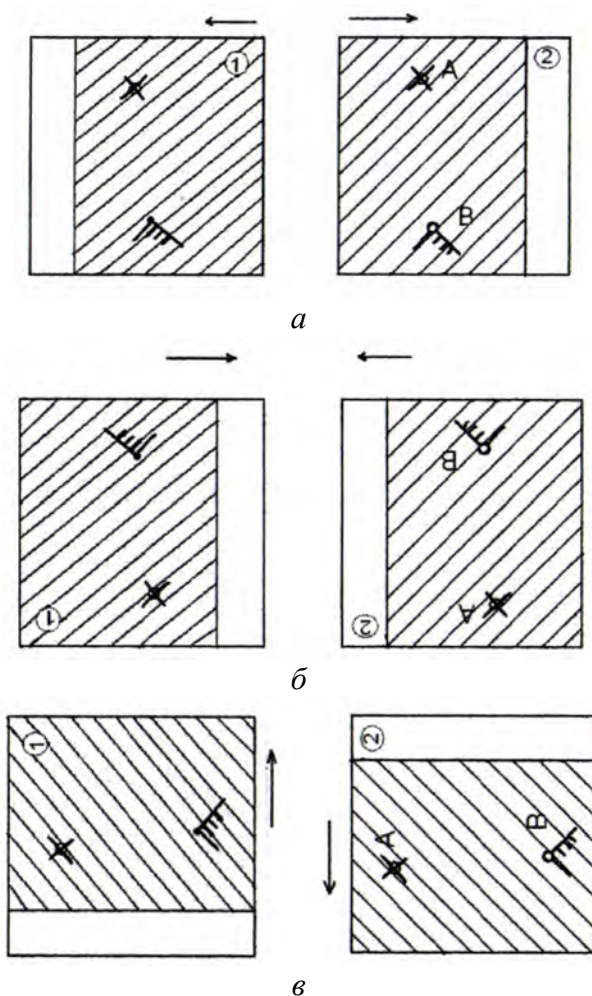


Рис. 9. Виды стереоэффекта в зависимости от расположения снимков под стереоскопом: а — прямой ( $A$  — гора,  $B$  — лощина); б — обратный — на  $180^\circ$  от прямого ( $A$  — лощина,  $B$  — гора); в — нулевой — на  $90^\circ$  от прямого ( $A, B$  — на горизонтальной плоскости)

## 4.2. Вариантное трассирование автомобильной дороги

Учебное задание выполняют 2 студента. На стереопаре, состоящей из двух снимков, проектируют 2 варианта автомобильной дороги (на левом снимке — I, на правом снимке — II вариант). Используя стереоскопическую модель, намечают основные точки трассы: начало трассы НТ, вершину угла поворота ВУ, конец трассы КТ. На левом и правом снимках НТ и КТ — одни и те же точки местности, ВУ — разные.

Вычисляют основные геометрические параметры трассы, составляют ведомость прямых и кривых, сравнивают варианты и выбирают оптимальный.

### Пример

Последовательность выполнения работы:

1. Записывают исходные данные:

- стереопара — снимки № Б-20-19 (левый) и № Б-20-20 (правый);
- фокусное расстояние съёмочной пары  $f_k = 211$  мм;
- абсолютная высота фотографирования  $H_{\text{абс}} = 4516$  м;
- взаимный продольный угол наклона  $\Delta\alpha_x = -0^\circ 26'$ ;
- базисы фотографирования, измеренные на левом и правом снимках:

$$b_{\text{л}} = 66,3 \text{ мм};$$

$$b_{\text{пр}} = 67,5 \text{ мм};$$

$$b_{\text{ср}} = \frac{b_{\text{л}} + b_{\text{пр}}}{2} = \frac{66,3 + 67,5}{2} = 66,9 \text{ мм}.$$

2. Вычерчивают схему выбранного варианта трассы с указанием основных геометрических параметров трассы (рис. 10).

3. Определяют масштаб снимка:

$$\frac{1}{m} = \frac{f_k}{H_{\text{абс}}} = \frac{1}{H_{\text{абс}}/f_k}; \quad (29)$$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{4516/0,211} = \frac{1}{21403}.$$

4. Измеряют на снимке и вычисляют на местности:

а) расстояние от начала трассы НТ до вершины угла поворота ВУ —  $S_{\text{НТ—ВУ}}$ ;

б) расстояние от вершины угла поворота до конца трассы —  $S_{\text{ВУ—КТ}}$ :

$$S_{\text{НТ—ВУ}} = 60 \text{ мм} \cdot 21\,403 = 128\,418 \text{ мм} = 1284,18 \text{ м};$$

$$S_{\text{ВУ—КТ}} = 40 \text{ мм} \cdot 21\,403 = 85\,612 \text{ мм} = 856,12 \text{ м}.$$

5. Измеряют геодезическим транспортиром дирекционные углы и вычисляют румбы направлений трассы:

$$\alpha_{\text{НТ—ВУ}} = 159^\circ 00'; r_{\text{НТ—ВУ}} = \text{ЮВ}; 21^\circ 00';$$

$$\alpha_{\text{ВУ—КТ}} = 174^\circ 00'; r_{\text{ВУ—КТ}} = \text{ЮВ}; 6^\circ 00'.$$

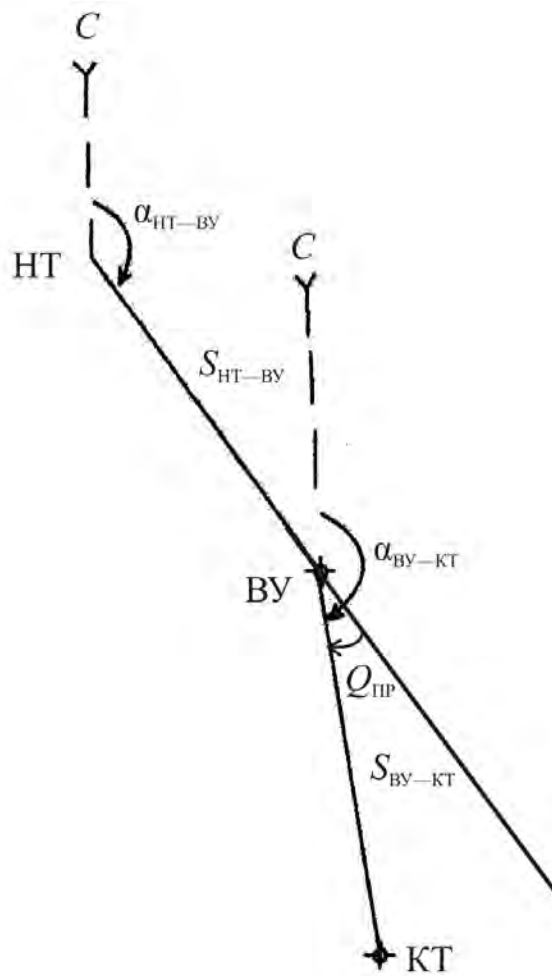


Рис. 10. Схема трассы автомобильной дороги

6. Вычисляют угол поворота трассы  $Q$ :

левый

$$Q_{\text{л}} = \alpha_{\text{HT-BY}} - \alpha_{\text{BY-KT}}; \quad (30)$$

правый

$$Q_{\text{пр}} = \alpha_{\text{BY-KT}} - \alpha_{\text{HT-BY}}; \quad (31)$$

$$Q_{\text{пр}} = 174^{\circ}00' - 159^{\circ}00' = 15^{\circ}00'.$$

7. Используя значение угла поворота и расстояния  $S_{\text{HT-BY}}$  и  $S_{\text{BY-KT}}$ , вычисляют радиус  $R$  круговой кривой исходя из того, что величина тангенса  $T$  не может превышать значения этих расстояний.

$$T \leq S_{\text{min}}; \quad (32)$$

$$T = 40 \text{ мм} \cdot 21\,403 = 856\,120 \text{ мм} = 856,12 \text{ м}.$$

$$T = R \operatorname{tg} \frac{Q}{2},$$

следовательно,

$$R = \frac{T}{\operatorname{tg} \frac{Q}{2}}, \quad (33)$$

$$R = \frac{856,12 \text{ м}}{\operatorname{tg} \frac{15^\circ}{2}} = 6502,87 \text{ м} \approx 6000 \text{ м.}$$

8. По округленной величине радиуса вычисляют основные элементы круговой кривой: тангенс Т, длину кривой К, домер Д и биссектрису Б по формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{Q}{2}; \quad (34)$$

$$K = \frac{\pi R}{180^\circ} Q; \quad (35)$$

$$D = 2T - K; \quad (36)$$

$$B = \frac{R}{\cos \frac{Q}{2}} - R. \quad (37)$$

$$T = 6000 \operatorname{tg} \frac{15^\circ}{2} = 789,91 \text{ м};$$

$$K = \frac{3,14 \cdot 6000}{180^\circ} \cdot 15^\circ = 1570,80 \text{ м};$$

$$D = 2 \cdot 789,91 - 1570,80 = 9,02 \text{ м};$$

$$B = \frac{6000}{\cos \frac{15^\circ}{2}} - 6000 = 51,77 \text{ м.}$$

9. Вычисляют пикетажные значения основных точек трассы:

$$\text{ПК НК} = \text{ПК0}; \quad (38)$$

$$\text{ПК ВУ} = \text{ПК НТ} + S_{\text{НТ—ВУ}}; \quad (39)$$

$$\text{ПК КТ} = \text{ПК ВУ} + S_{\text{ВУ—КТ}} - D. \quad (40)$$

$$\text{ПК НК} = 0;$$

$$\text{ПК ВУ} = 0 + 1284,18 = \text{ПК 12} + 84,18;$$

$$\text{ПК КТ} = \text{ПК 12} + 84,18 + 856,12 - 9,02 = 2131,28 = \text{ПК 21} + 31,28.$$

Вычисляют пикетажные значения главных точек круговой кривой:

$$\text{начала кривой ПК НК} = \text{ПК ВУ} - T; \quad (41)$$

$$\text{конца кривой ПК КК} = \text{ПК НК} + K; \quad (42)$$

$$\text{середины кривой ПК СК} = \text{ПК НК} + K/2. \quad (43)$$

Контроль:

$$\text{ПК КК} = \text{ПК ВУ} + T - Д; \quad (44)$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК КК} - K/2. \quad (45)$$

Пример вычисления и записи главных точек круговой кривой:

$$\text{ПК ВУ} = \text{ПК 12} + 84,18 \quad \text{ПК ВУ} = \text{ПК 12} + 84,18$$

$$\begin{array}{r} - \\ \text{ПК Т} = \text{ПК 7} + 89,91 \end{array} \quad \begin{array}{r} + \\ \text{ПК Т} = \text{ПК 7} + 89,91 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \hline \text{ПК НК} = \text{ПК 4} + 94,27 \end{array} \quad \begin{array}{r} \hline \Sigma = \text{ПК 20} + 74,09 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + \\ \text{ПК К} = \text{ПК 15} + 70,80 \end{array} \quad \begin{array}{r} - \\ \text{ПК Д} = \text{ПК 0} + 9,02 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \hline \text{ПК КК} = \text{ПК 20} + 65,07 \end{array} \quad \begin{array}{r} \hline \text{ПК КК} = \text{ПК 20} + 65,07 \end{array}$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК 4} + 94,27 + 0,5 \text{ ПК 15} + 70,80 = \text{ПК 12} + 79,67;$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК 20} + 65,07 - 0,5 \text{ ПК 15} + 70,80 = \text{ПК 12} + 79,67.$$

10. Вычисляют протяженность прямых участков трассы:

$$P_1 = \text{ПК НК} - \text{ПК НТ}; \quad (46)$$

$$P_2 = \text{ПК КТ} - \text{ПК КК}; \quad (47)$$

$$\Sigma P = P_1 + P_2; \quad (48)$$

$$P_1 = \text{ПК 4} + 94,27 - 0 = \text{ПК 4} + 94,27;$$

$$P_2 = \text{ПК 21} + 31,28 - \text{ПК 20} + 65,07 = \text{ПК 0} + 66,21;$$

$$\Sigma P = 494,27 + 66,21 = 560,48 \text{ м.}$$

11. Вычисляют общую длину трассы:

$$L_{\text{тр}} = \Sigma P + \Sigma K. \quad (49)$$

Контроль:

$$L_{\text{тр}} = \Sigma S - \Sigma Д. \quad (50)$$

$$L_{\text{тр}} = 560,48 + 1570,80 = 2131,28 \text{ м.}$$

Контроль:

$$L_{\text{тр}} = 1284,18 + 856,12 - 9,02 = 2131,28 \text{ м.}$$

12. Вычисленные значения параметров трассы заносят в ведомость прямых и кривых (табл. 3).

Таблица 3

## Ведомость прямых и кривых

Исходные точки трассы	Положение вершины, ПК	Углы		Кривые						Параметры прямых вставок				Примечание		
		$Q_{пр}$	$Q_{л}$	Элементы кривой				Пикетажные значения		Длина $P$ , м	Расстояние от НТ и КТ до вершин углов поворота $S$ , м	Дирекционный угол $\alpha$	Румб $r$			
				Радиус $R$ , м	Тангенс $T$ , м	Кривая $K$ , м	Биссектриса $B$ , м	Домер $D$ , м	НК						КК	
НТ	ПК0															
											494,27	1284,18	159°00'	ЮВ:21°00'		
ВУ1	ПК12+84,18	15°00'	—	6000	789,91	1570,8	51,77	9,02	ПК4+94,27	ПК20+65,07						
											66,21	856,12	174°00'	ЮВ:6°00'		
КТ	ПК 21+31,28															
					$\Sigma T = 789,91$	$\Sigma K = 1570,8$		$\Sigma D = 9,02$				$\Sigma P = 560,48$	$\Sigma S = 2140,3$			

## Контроль:

- $\alpha_n^{\text{кон}} - \alpha_0^{\text{нач}} = \Sigma Q_{пр} - \Sigma Q_{л}: 174^{\circ}00' - 159^{\circ}00' = 15^{\circ}00' - 0; 15^{\circ}00' = 15^{\circ}00'.$
- $\Sigma P + \Sigma K = \Sigma S - \Sigma D: 560,48 + 1570,8 = (1284,18 + 856,12) - 9,02; 2131,28 \text{ м} = 2131,28 \text{ м}.$
- $2\Sigma T - \Sigma D = \Sigma K: 2 \cdot 789,91 - 9,02 = 1570,8; 1570,8 \text{ м} = 1570,8 \text{ м}.$

13. Составляют таблицу сравнения вариантов трассы (табл. 4) и выбирают оптимальный.

Таблица 4

Параметры сравнения вариантов трассы

Сравниваемые величины	Ед. изм.	Варианты	
		I	II
Длина трассы $L_{тр}$	км	2142,9	2131,28
Количество углов поворота	шт.	1	1
Максимальный радиус закругления	м	9300	6000
Количество сносимых сооружений	шт.	5	0
Количество необходимых дорожных сооружений:			
трубы	шт.	2	3
мосты		2	0
Протяженность участков трассы в сложных условиях	км	1	0,33

Результат сравнения: за оптимальный вариант принимаем вариант II.

### 4.3. Разбивка пикетажа на оптимальном варианте трассы

Последовательность выполнения работы:

1. На правом снимке подписывают пикетажные значения основных точек трассы из табл. 3.

2. От вершины угла поворота по направлениям ВУ—НТ и ВУ—КТ откладывают расстояния в мм, соответствующие в выбранном масштабе величине тангенса  $T$  круговой кривой. Получают точки начала и конца кривой (НК, КК).

3. Вычисляют угол  $\beta$  между направлениями ВУ—НТ и ВУ—КТ по формуле

$$\beta = 180^{\circ}00' - Q^{\circ}_{пр}; \quad (51)$$

$$\beta = 180^{\circ}00' - 15^{\circ}00' = 165^{\circ}00'.$$

4. Геодезическим транспортиром откладывают от линии ВУ—КТ значение величины угла

$$\frac{\beta}{2} = 165^{\circ}00' / 2 = 82^{\circ}30'.$$

По полученному направлению откладывают расстояние, соответствующее в масштабе снимка длине биссектрисы  $B$ , и фиксируют положение точки середины кривой СК.

5. Выполняют контроль положения точек путем сравнения расстояний НК—НТ и КК—КТ, измеренных на снимке с вычисленными значениями прямых вставок  $P_1$  и  $P_2$ .

На чертеже

$$d_{НК—НТ} = 23,1 \text{ мм.}$$

На местности

$$23,1 \text{ мм} \cdot 21\,397 = 494\,270 \text{ мм} = 494,27 \text{ м.}$$

На чертеже

$$d_{\text{КК—КТ}} = 3,1 \text{ мм};$$

на местности

$$3,1 \text{ мм} \cdot 21\,397 = 66\,210 \text{ мм} = 66,21 \text{ м.}$$

Измеренные данные совпали с вычисленными, следовательно, точки НК и КК нанесены правильно.

6. Выписывают пикетажные значения точек (НК, СК, КК). Между точками НК—НТ и КК—КТ откладывают соответствующие расстояния до ближайших пикетов.

$$\text{Расстояние от точки НК до ПК4 равно } \frac{94,27 \text{ м}}{21\,403} = 0,0044 \text{ м} = 4,4 \text{ мм, от КК}$$

$$\text{до ПК21 равно } \frac{34,93 \text{ м}}{21\,403} = 0,0016 \text{ м} = 1,6 \text{ мм, отложив их, получаем ПК4}$$

и ПК21.

Контроль: от ПК4 в сторону НТ откладываем отрезки, соответствующие 100 м в масштабе снимка (4,7 мм), получаем ПК3, ПК2, ПК1, ПК0 (ПК0 = НТ).

Аналогично, откладывая от ПК21 отрезки, равные 4,7 мм, получаем следующие пикеты и КТ.

На круговой кривой для каждого пикета определяют прямоугольные координаты:

$$X_i = R \sin \varphi_i; \quad (52)$$

$$Y_i = R - R \cos \varphi_i, \quad (53)$$

где

$$\varphi_i = \frac{k_i}{K} Q; \quad (54)$$

$$k_i = \text{ПК}_i - \text{ПК НК} \text{ (для точек между НК и СК),} \quad (55)$$

или

$$k_i = \text{ПК КК} - \text{ПК}_i \text{ (для точек между КК и СК).} \quad (56)$$

Пикетажное значение точки начала кривой ПК НК = ПК4 + 94,27, расстояние  $k_1$  до пикета 5 равно  $100 - 94,27 = 5,73 \text{ м}$ .

$$\varphi_1 = \frac{5,73}{1570,80 \text{ м}} \cdot 15^\circ 00' = 0^\circ 03' 17'';$$



при  $R = 6000$  м:

$$X_1 = 6000 \sin 0^\circ 03' 17'' \approx 5,73 \text{ м};$$

$$Y_1 = 6000 \text{ м} - 6000 \text{ м} \cdot \cos 0^\circ 03' 17'' = 0,003 \text{ м};$$

расстояние от начала кривой до пикета б равно 105,73;

$$\varphi_2 = \frac{105,73 \text{ м}}{1570,80 \text{ м}} \cdot 15^\circ 00' = 1^\circ 00' 36'';$$

$$X_2 = 6000 \text{ м} \cdot \sin 1^\circ 00' 36'' = 105,76 \text{ м};$$

$$Y_2 = 6000 \text{ м} - 6000 \text{ м} \cdot \cos 1^\circ 00' 36'' = 0,93 \text{ м}.$$

Результаты заносят в табл. 5, используя данные которой, на правом снимке вычерчивают круговую кривую. Для левого снимка круговую кривую вычерчивают на формате А4.

*Пример*

Таблица 5

Детальная разбивка круговой кривой методом прямоугольных координат

№ точки	Пикетажные значения точек круговой кривой	$k$	$\varphi$	Значения прямоугольных координат характерных точек для построения кривой			
				на местности		на чертеже	
				$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$	$X, \text{ мм}$	$Y, \text{ мм}$
НК	ПК4 + 94,27	0	0°00'00"	0	0	0	0
1	ПК5	5,73	0°03'17"	5,73	0,003	0,3	0,0001
2	ПК6	105,73	1°00'36"	105,76	0,93	4,9	0,04
3	ПК7	205,73	1°57'50"	205,63	3,52	9,6	0,2
4	ПК8	305,73	2°5'08"	305,54	7,78	14,3	0,4
5	ПК9	405,73	3°52'26"	405,38	13,71	18,9	0,6
6	ПК10	505,73	4°49'44"	505,093	21,30	23,6	1,0
7	ПК11	605,73	5°47'02"	604,671	30,55	28,3	1,4
8	ПК12	704,73	6°44'20"	704,080	41,45	32,9	1,9
СК	ПК12 + 79,67	785,4	7°30'00"	783,16	51,33	36,6	2,4
9	ПК13	765,07	7°18'22"	763,01	48,71	35,6	2,3
10	ПК14	665,07	6°21'04"	663,71	36,82	31,0	1,7
11	ПК15	565,07	5°23'46"	564,23	26,59	26,4	1,2
12	ПК16	465,07	4°26'28"	464,59	18,01	21,7	0,8
13	ПК17	365,07	3°29'10"	364,828	11,10	17,0	0,5
14	ПК18	265,07	2°31'52"	264,96	5,85	12,4	0,3
15	ПК19	165,07	1°34'34"	165,02	2,27	7,7	0,1
16	ПК20	65,07	0°37'16"	65,03	0,35	3,0	0,02
КК	ПК20 + 65,07	0	0°00'00"	0	0	0	0

Детальная разбивка круговой кривой методом прямоугольных координат представлена на рис. 11.

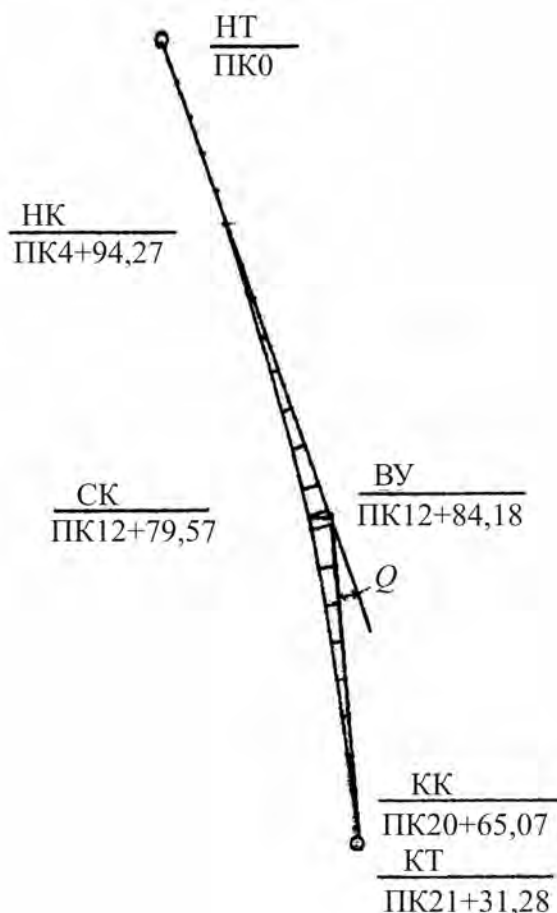


Рис. 11. Детальная разбивка кривой методом прямоугольных координат

#### 4.4. Привязка трассы автомобильной дороги к опознакам

Начало и конец трассы привязывают на снимке к высотным опорным точкам (опознакам), рассчитывают данные для выноса проекта трассы автомобильной дороги со снимка на местность и составляют разбивочный чертеж.

##### *Пример*

Исходные данные:

1. Стереопара № Б-20-19; Б-20-20.
2. Снимок № Б-20-20 (правый).
3. Фокусное расстояние  $f_k = 211$  мм.
4. Абсолютная высота фотографирования  $H_{\text{абс}} = 4516$  м.

5. Масштаб аэроснимка  $\frac{1}{m} = \frac{1}{21\,403}$ .

6. Отметки опознаков:  $A_4 = 497,0$  м;  $A_5 = 527,8$  м;  $A_6 = 508,4$  м;  $A_7 = 620,4$  м.

7. Склонение магнитной стрелки  $\delta_3 = 6^\circ 07'$ ; сближение меридианов  $\gamma_B = 0^\circ 51'$ .

Последовательность выполнения работы:

1. Вычерчивают схему расположения опознаков на аэрофотоснимках (рис. 12).

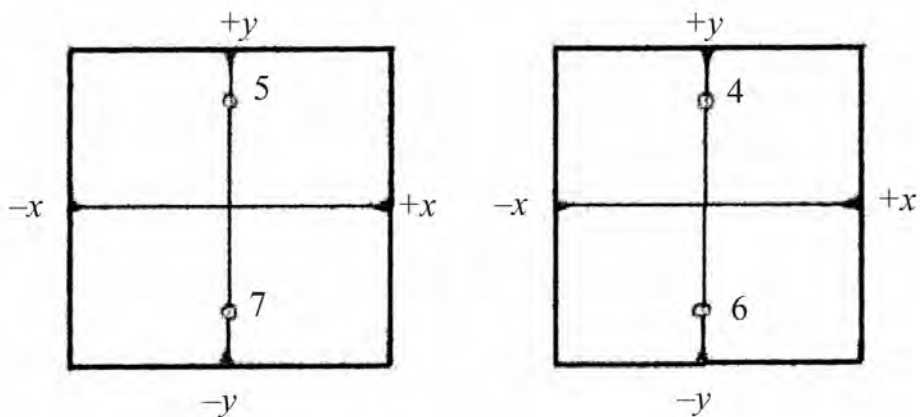


Рис. 12. Схема расположения опознаков на аэрофотоснимках

2. Вычерчивают схему привязки точек начала и конца трассы (НТ и КТ) к ближайшим опознакам (рис. 13).

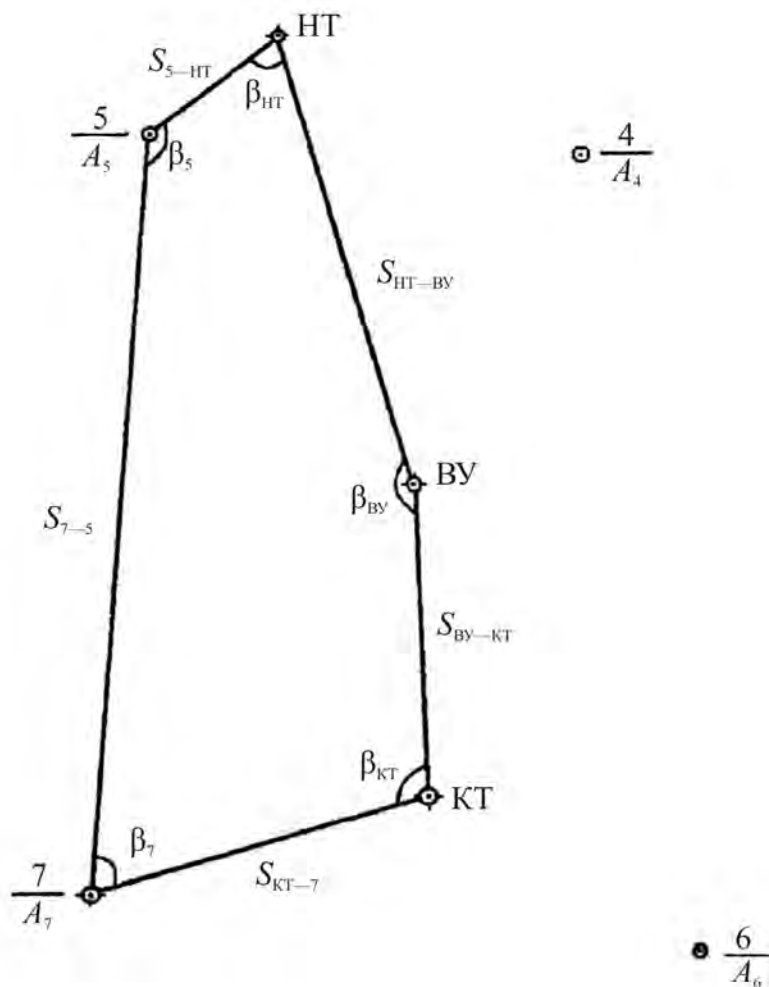


Рис. 13. Схема привязки точек НТ и КТ к опознакам

3. Измеряют на аэроснимке расстояния  $S$  от выбранных ближайших опознаков до соответственных точек начала или конца трассы, а также между опознаками и вычисляют их значения на местности.

$$S_{5-НТ} = 21 \text{ мм} \cdot 21\,403 = 44\,946 \text{ мм} = 449,46 \text{ м};$$

$$S_{КТ-7} = 45,4 \text{ мм} \cdot 21\,403 = 971\,696 \text{ мм} = 971,70 \text{ м};$$

$$S_{НТ-ВУ} = 1284,18 \text{ м};$$

$$S_{ВУ-КТ} = 856,12 \text{ м};$$

$$S_{7-5} = 97,5 \text{ мм} \cdot 21\,403 = 2\,086\,792 \text{ мм} = 2086,80 \text{ м}.$$

4. Измеряют геодезическим транспортиром дирекционные углы и вычисляют их обратные значения.

Значения дирекционных углов ( $\alpha_{пр} - \alpha_{об} = 180^\circ$ ):

прямые (по ходу часовой стрелки)      обратные (против хода)

$$\alpha_{5-НТ} = 49^\circ 00'$$

$$\alpha_{НТ-5} = 229^\circ 00'$$

$$\alpha_{НТ-ВУ} = 159^\circ 00'$$

$$\alpha_{ВУ-НТ} = 339^\circ 00'$$

$$\alpha_{ВУ-КТ} = 174^\circ 00'$$

$$\alpha_{КТ-ВУ} = 354^\circ 00'$$

$$\alpha_{КТ-7} = 251^\circ 00'$$

$$\alpha_{7-КТ} = 71^\circ 00'$$

$$\alpha_{7-5} = 1^\circ 00'$$

$$\alpha_{5-7Т} = 181^\circ 00'$$

5. По разности дирекционных углов вычисляют проектные углы  $\beta_i$ . Проектный угол  $\beta$  равен разности дирекционных углов направлений, исходящих из вершины направо и налево.

$$\beta_5 = \alpha_{5-7} - \alpha_{5-НТ} = 181^\circ 00' - 49^\circ 00' = 132^\circ 00';$$

$$\beta_{НТ} = \alpha_{НТ-5} - \alpha_{НТ-ВУ} = 229^\circ 00' - 159^\circ 00' = 70^\circ 00';$$

$$\beta_{ВУ} = \alpha_{ВУ-НТ} - \alpha_{ВУ-КТ} = 339^\circ 00' - 174^\circ 00' = 165^\circ 00';$$

$$\beta_{КТ} = \alpha_{КТ-ВУ} - \alpha_{КТ-7} = 354^\circ 00' - 251^\circ 00' = 103^\circ 00';$$

$$\beta_7 = \alpha_{7-КТ} - \alpha_{7-5} = 71^\circ 00' - 1^\circ 00' = 70^\circ 00'.$$

Контроль:

$$\sum \beta_{теор} = 180^\circ(n - 2) = 180^\circ(5 - 2) = 540^\circ 00';$$

$$\sum \beta = 132^\circ 00' + 70^\circ 00' + 165^\circ 00' + 103^\circ 00' + 70^\circ 00' = 540^\circ 00'.$$

6. По данным склонения магнитной стрелки и сближения меридианов, вычисляют магнитные азимуты и их румбы по формуле

$$A_M = \alpha + (\delta_3 + \gamma_B). \quad (57)$$

Результаты заносят в табл. 6.

$$\delta_3 = 6^\circ 07'; \quad \gamma_B = 0^\circ 51'.$$

Таблица 6

## Вычисление магнитных азимутов и их румбов

№ точки по ходу часовой стрелки	$\alpha$	$r$	$\delta + \gamma$	$A_M$	$r_M$
5	49°00'	СВ: 49°00'	6°58'	55°58'	СВ: 55°58'00"
НТ	159°00'	ЮВ: 21°00'	6°58'	165°58'	ЮВ: 14°02'00"
ВУ	174°00'	ЮВ: 6°00'	6°58'	180°58'	ЮЗ: 0°58'00"
КТ	251°00'	ЮЗ: 71°00'	6°58'	257°58'	ЮЗ: 77°58'00"
7	1°00'	СВ: 1°00'	6°58'	7°58'	СВ: 7°58'00"
5					

7. Вычисляют наклонные расстояния  $D$ , используя расстояния  $S$  и отметки точек. Результаты заносят в табл. 7.

Таблица 7

## Вычисление наклонных расстояний

№ точки по ходу часовой стрелки	$S$ , м	$H$ , м	$h = A_K - A_H$	$v = \frac{h \cdot 3436'}{S}$ (57)	$\cos v$	$D = \frac{S}{\cos v}$ (58)
5		527,8				
	449,46		+24,3	2°49'	0,9987919	450,00
НТ		552,1				
	1284,18		+40,49	1°48'	0,9995065	1284,81
ВУ		592,59				
	856,12		+55,32	3°42'	0,9979156	857,91
КТ		647,91				
	971,70		-27,51	1°37'	0,9996020	972,66
7		620,4				
	2086,50		92,6	2°33'	0,9990097	2088,57
5		527,8				

8. Составляют разбивочный чертеж на листе формата А4 в масштабе снимка (рис. 14).

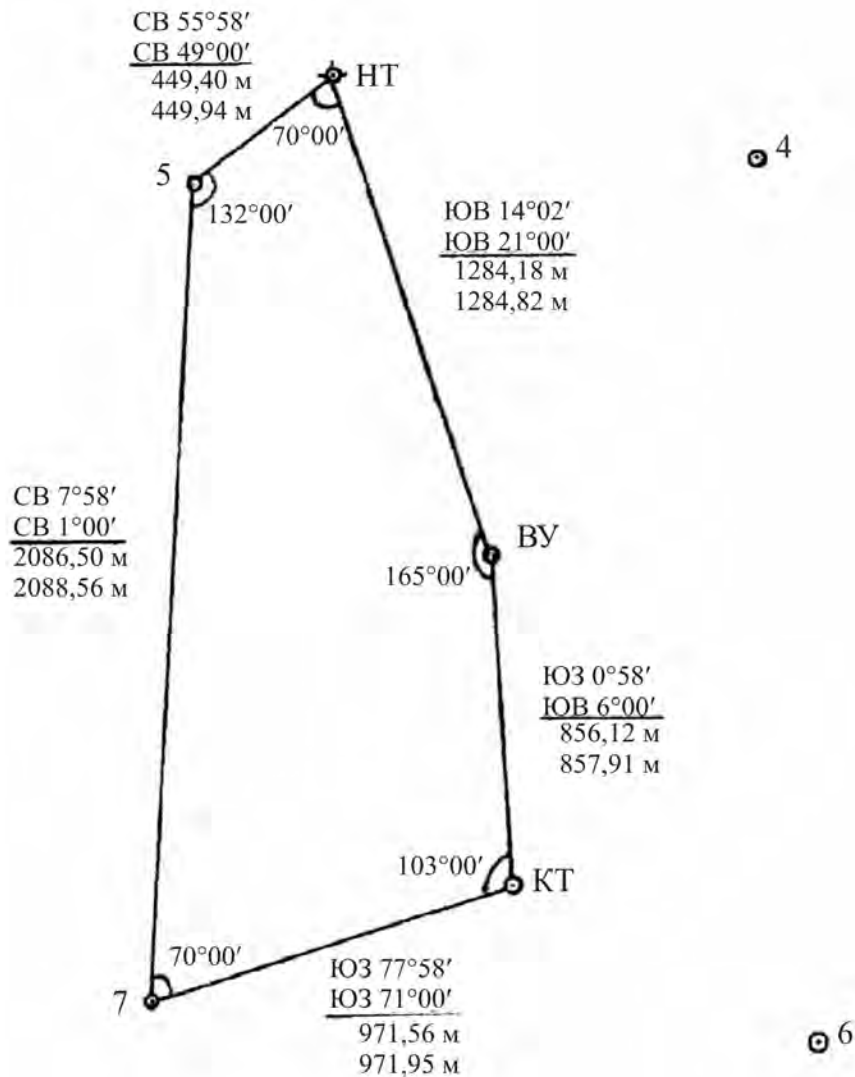


Рис. 14. Разбивочный чертеж

#### 4.5. Изучение устройства стереометра профессора Дробышева

В аэрогеодезии фотограмметрические работы могут быть выполнены с использованием стереометров, применяемых для обработки аэроснимков в плоскоравнинной или пересеченной местности соответственно СТД-1 и СТД-2. Они предназначены для фотограмметрического нивелирования точек трассы, рисовки рельефа на снимке горизонталями и других работ.

Сконструированный профессором Ф. В. Дробышевым и усовершенствованный профессором М. Д. Коншиным стереометр используется для определения превышений между точками по измеренным продольным параллаксам (одной и той же точки  $A$ ) на стереопаре.

Продольный параллакс вычисляют по формуле

$$P_A = x_{\text{пр}}^A - x_{\text{л}}^A, \quad (58)$$

где  $x_{\text{пр}}$  и  $x_{\text{л}}$  — абсциссы точки  $A$ , измеренные на правом и левом снимках.

Превышение определяемой точки  $A$  над начальной вычисляют по формуле

$$h_{A-\text{нач}} = \frac{H_{\text{нач}} \Delta P_{A-\text{нач}}}{b + \Delta P_{A-\text{нач}}}, \quad (59)$$

где  $\Delta P_{A-\text{нач}} = P_A - P_{\text{нач}}$  — разность продольных параллаксов определяемой и начальной точки;  $b$  — базис фотографирования в масштабе аэроснимка.

При негоризонтальном базисе фотографирования (на наклонных аэро-снимках) превышения, вычисленные по формуле (59), будут иметь ошибки. Для их исправления в измеренные по аэроснимкам разности продольных параллаксов вводят поправки за влияние элементов ориентирования:

колебания высот фотографирования  $\Delta H$ ;

разности продольных углов наклона  $\Delta\alpha = \alpha_{\text{пр}} - \alpha_{\text{л}}$ ;

поперечных углов наклона  $\Delta\omega = \omega_{\text{пр}} - \omega_{\text{л}}$ ;

поворотов в своей плоскости правого снимка относительно левого  $\Delta\chi = \chi_{\text{пр}} - \chi_{\text{л}}$ .

Устранение влияния этих элементов выполняется топографическим стереомером, коррекционными механизмами, позволяющими автоматически вводить поправку  $\delta(\Delta P)$  в измеряемую разность продольных параллаксов.

$$\delta(\Delta P) = \frac{x_{\text{пр}}}{f} \Delta H + \frac{x_{\text{пр}}^2}{f} \Delta\alpha + \frac{x_{\text{пр}} y}{f} \Delta\omega + y \Delta\chi + \frac{x_{\text{пр}}}{f} \Delta P (\alpha x_{\text{пр}} + \tau_{\text{л}}) - \frac{y}{f} \Delta P \omega_{\text{л}}. \quad (60)$$

В этой формуле 6 членов. Для введения поправок за каждый из них в стереомере имеется шесть корректоров: масштабный корректор  $\Delta d$ , конвергентное устройство  $\beta$ , корректор переменного поворота правой нити  $\rho$ , корректор постоянного поворота правой нити  $\chi_{\text{нити}}$ , дополнительный масштабный корректор  $\gamma_1$ , корректор дополнительного поворота левой нити  $\gamma_2$ .

В учебном процессе применяются снимки плоскоравнинной местности, поэтому в работе используются лишь основные корректоры. Каждый корректор вводит поправку в абсциссу точки правого снимка  $\Delta x$ :

$$\Delta x = \frac{x_{\text{пр}}}{d} \Delta d + \frac{x_{\text{пр}}^2}{d} \beta + \frac{x_{\text{пр}} y}{r} \rho - y \chi_{\text{нити}}. \quad (61)$$

Значения установки шкал корректоров вычисляют по формулам:

$$\Delta d = \frac{d}{f} \Delta H; \quad (62)$$

$$\beta = \frac{d}{f} \Delta\alpha; \quad (63)$$

$$\Delta\alpha = \alpha_{\text{пр}} - \alpha_{\text{л}}; \quad (64)$$

$$\rho = \frac{r}{f} \Delta\omega; \quad (65)$$

$$\chi_{\text{нити}} = \Delta\chi, \quad (66)$$

где  $\Delta d$  — значение для установки масштабного корректора;  $\beta$  — значение для установки конвергентного корректора;  $f$  — значение для установки корректора переменного поворота правой нити;  $\Delta\alpha$  — разность продольных углов наклона правого и левого снимков;  $\chi_{\text{нити}}$  — значение для установки корректора постоянного поворота правой нити;  $d = \text{const} = 100$  мм;  $r = \text{const} = 86$  мм.

Основные части стереометра приведены на рис. 15.

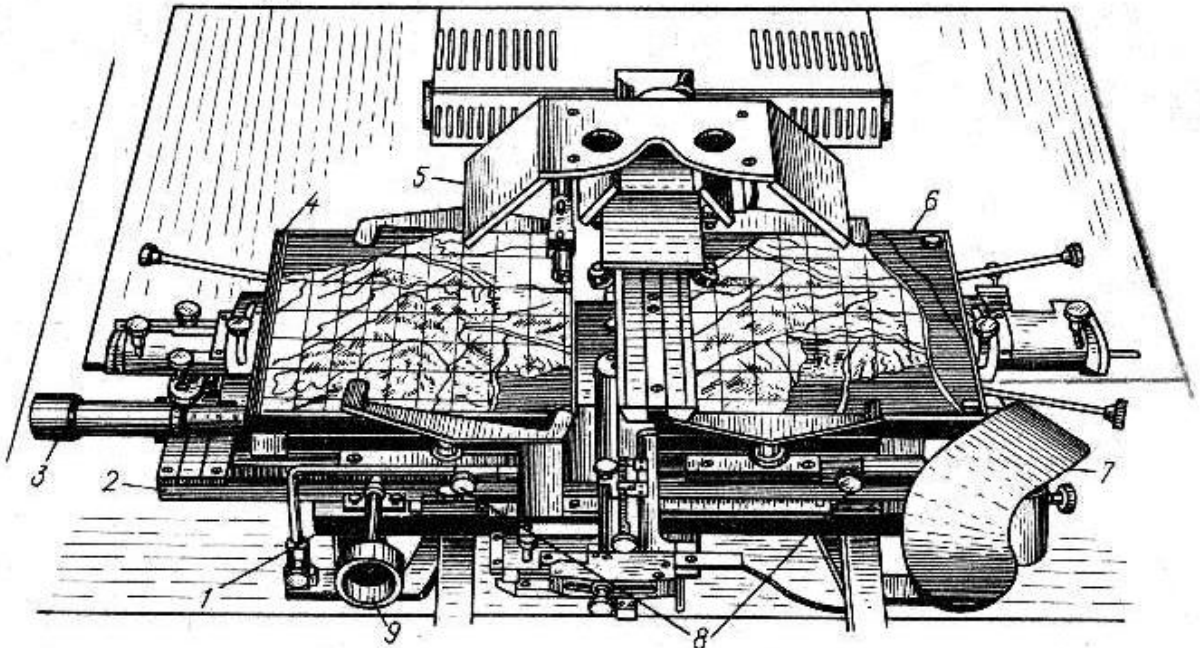


Рис. 15. Общий вид стереометра СТД-2: 1 — чугунное основание прибора; 2 — основная каретка (перемещается вдоль четырех направляющих роликов, расположенных на чугунном основании); 3 — параллактический винт  $P$ ; 4 и 6 — кассеты (левая и правая); 5 — линзово-зеркальный стереоскоп; 7 — подлокотник; 8 — стойки нитедержателей (левого и правого); 9 — штурвал  $X$ , перемещающий основную каретку по оси  $X$

Масштабный корректор  $\Delta d$  служит для устранения влияния на результаты измерения параллаксов разномасштабности снимков (рис. 16). Он состоит из линеек 17 и 18, направляющих линеек 22 и 23, ползушек 20 и 21 с укрепленными на них роликами. Центр 19 вращения линеек 17 и 18 укреплен на чугунном основании. Направляющая линейка 22 наглухо скреплена с основной кареткой, по которой может перемещаться ползушка 20 с подвижным роликом, расположенным на расстоянии  $d = 100$  мм от центра вращения.

С правой кареткой скреплена направляющая линейка 23, по которой может перемещаться ползушка 21 с роликом, контактирующим с коррекционной линейкой 18. Так как расстояние от этого ролика до центра не равно  $d$ , ролики 20 и 21 под ползушкой передвинутся по оси абсцисс на разные расстояния. Ролик 21 сместится на дополнительную величину  $\Delta x_1$ , на которую сдвинется правая каретка. В результате в измеренный продольный параллакс введется поправка из-за колебаний высот фотографирования. При  $\Delta H = 0$ ,  $\Delta d = 0$  масштабный корректор выключен.



$$\Delta x_1 = \frac{x_{\text{пр}}}{d} \Delta d,$$

где  $\Delta d = \frac{d}{f_k} \Delta H$ .

Конвергентное устройство состоит из линеек 17, 18, соединенных в центре 19, и шкалы  $\beta$ , имеющей закрепительный и наводящий винты. Установка корректора  $\beta$  производится по шкале  $\beta$ , когда продольные углы наклона правого и левого снимка не равны. Значение установки шкалы вычисляют по формуле (64).

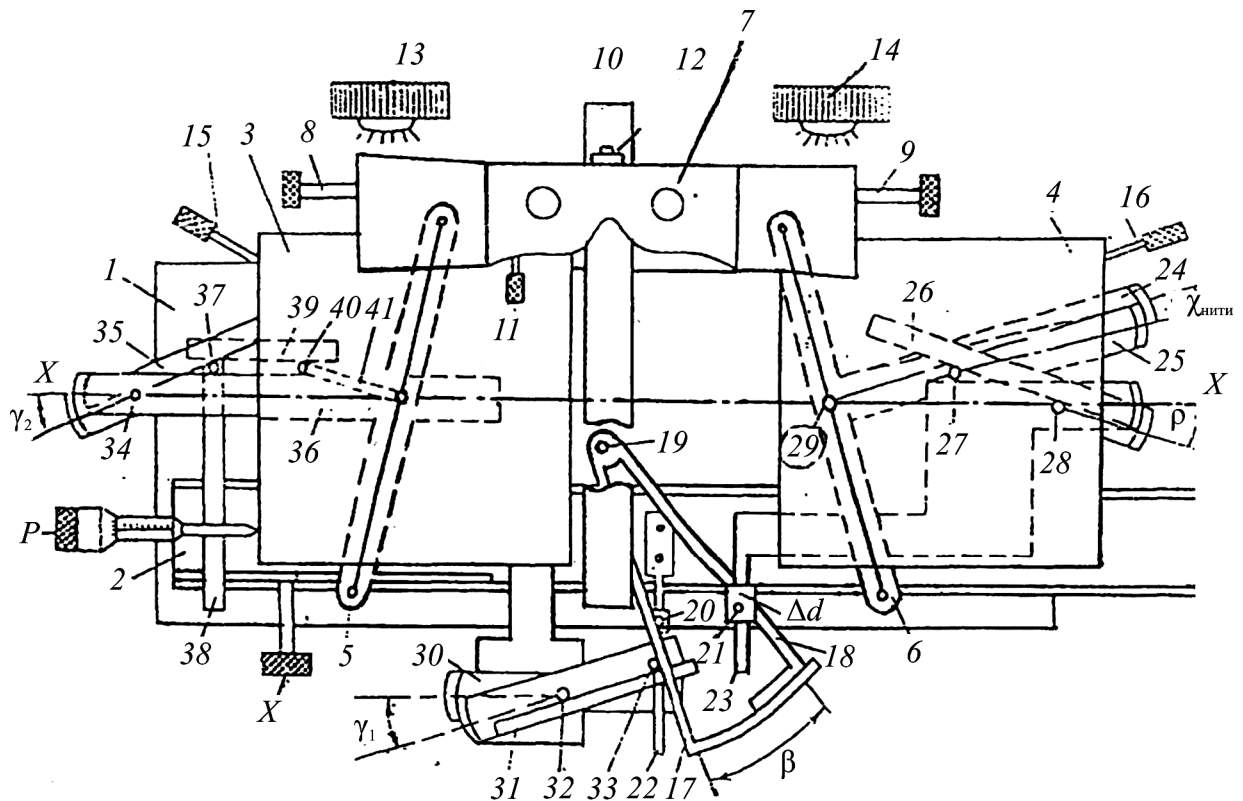


Рис. 16. Схема коррекционных механизмов стереометра: 1 — чугунное основание прибора — станина; 2 — подвижная каретка — основная; 3 и 4 — левая и правая каретки с кассетами, на которых устанавливают аэроснимки. Штурвал  $X$  (кремальерный винт) — осуществляет перемещение основной каретки вдоль оси  $X$  прибора; 5 и 6 — левый и правый нитедержатели с закрепленными на них нитями; 7 — линзово-зеркальный стереоскоп; 8 и 9 — винты для перемещения ЛЗС по направляющим мостика 10; 11 — винт для устранения возникающего поперечного параллакса движением левой линзы; 12 — рычаг установки глазного базиса наблюдателя; 13 и 14 — осветительные лампы; 15 и 16 — наводящие винты поворота кассет в своих плоскостях на углы  $\chi_l$  и  $\chi_{\text{пр}}$ ;  $P$  — винт продольных параллаксов, осуществляет раздельное перемещение каретки 3 со снимком вдоль оси  $X$  прибора;  $\Delta d$  — масштабный корректор; состоит из линеек 17, 18, 22, 23, оси вращения 19 и подвижных роликов 20, 21;  $\beta$  — конвергентное устройство: шкала корректора, на которой устанавливают корректирующий угол  $\beta$ ;  $\chi_{\text{нити}}$  — корректор постоянного поворота правой нити (линейки 24, 25 и шкала  $\chi$ , на которой устанавливается постоянный угол поворота правой нити);  $\rho$  — корректор переменного поворота правой нити (линейки 25, 26, ролики 27, 28, ось вращения 29);  $\gamma_1$  — дополнительный масштабный корректор — линейки 30, 31, ось вращения 32, подвижной ролик 33;  $\gamma_2$  — дополнительный корректор поворота левой нити (линейки 35, 36, ось вращения 34, линейки 38, 39, рычаг 41 и ролики 37 и 40); масштабный корректор имеет  $\text{const} = 100$  мм; корректор  $\rho$  имеет  $r = 86$  мм; корректор  $\gamma_2$  имеет  $R = 135$  мм

При общем перемещении линеек 17 и 18 вокруг центра 19 (см. рис. 16) ролик 21 по оси  $X$  пройдет большее расстояние на величину  $\Delta X_2$ :

$$\Delta x_2 = \frac{x_{\text{пр}}^2}{d} \beta; \quad \beta = \frac{d}{f_{\text{к}}} \Delta \alpha.$$

Измеренный продольный параллакс, с учетом поправки на величину  $\Delta x_2$ , должен быть равен

$$P_{\text{изм}} + \Delta x_2 = P_{\text{исп}}. \quad (67)$$

Корректор постоянного поворота правой нити  $\chi_{\text{нити}}$  поворачивает правую нить на угол  $\chi$ . Корректор переменного поворота правой нити  $\rho$  корректирует положение правого снимка относительно левого за счет изменения поперечного угла наклона  $\Delta \omega$ . Оба корректора связаны с центром правого нитедержателя 29 (см. рис. 16).

Основные детали корректоров (см. рис. 16): 24 — неподвижная линейка  $\chi$  нити; 25 — шкала  $\chi_{\text{нити}}$  с закрепительным и наводящим винтами. Устанавливаемый для выполнения корректировки отсчет по шкале  $\chi_{\text{нити}}$  вычисляется по формуле

$$\Delta x_3 = y \Delta \chi, \quad (68)$$

где  $\Delta \chi = \chi_{\text{нити}} = \chi_{\text{пр}} - \chi_{\text{л}}$  — поправка, вводимая корректором  $\chi_{\text{нити}}$  в измеренный продольный параллакс.

Детали корректора переменного поворота правой нити: 26 — подвижная линейка; 27 — подвижный ролик; 28 — неподвижный ролик шкалы  $\rho$ ; 29 — центр правого нитедержателя.

Установка отсчета по шкале  $\rho$  вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{r}{f} \Delta \omega, \quad (69)$$

где  $\Delta \omega = \omega_{\text{пр}} - \omega_{\text{л}}$  — взаимный поперечный угол наклона правого снимка относительно левого;  $\omega_{\text{пр}}$  — поперечный угол наклона правого снимка;  $\omega_{\text{л}}$  — поперечный угол наклона левого снимка;  $r = \text{const}$  — расстояние подвижного ролика от центра нитедержателя ( $r = 86$  мм).

Поправка, вводимая корректором  $\rho$ , в измерение продольного параллакса,

$$\Delta x_4 = \frac{xy}{r} \rho. \quad (70)$$

Измеренный продольный параллакс по винту  $P$  исправляется автоматически корректорами на величины  $\Delta x_1$ ;  $\Delta x_2$ ;  $\Delta x_3$ ;  $\Delta x_4$ :

$$P_{\text{исп}} = P_{\text{изм}} + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4.$$

## 4.6. Работа на стереометре

Подготовка прибора к работе:

1. На соответствующих шкалах прибора устанавливают отсчеты: по шкале параллактического винта  $P$  — отсчет  $v_{\text{ср}}$ , по шкалам  $\chi_{\text{л}}$  и  $\chi_{\text{пр}}$  — отсчет, равный 0, по шкале  $\Delta d = 100$  мм, по шкале  $\beta = 0$ ,  $\chi_{\text{нити}} = 0$ ,  $\rho = 0$ ,  $\gamma_1 = 0$ ,  $\gamma_2 = 0$ .

2. Завязывают в нитедержателях правую и левую нити, предварительно окрашенные, соответственно, в красный и зеленый цвета. На каждой нити завязывают узелки.

3. Выполняют центрирование узелков. Работают монокулярно (отдельно левым и правым глазом). Штурвалом  $X$  правую нить наводят на центр правой кассеты. Смотря в стереоскоп правым глазом, перемещают рукой узелок на центр правой кассеты. Аналогичные действия выполняют с левым узелком (рис. 17).

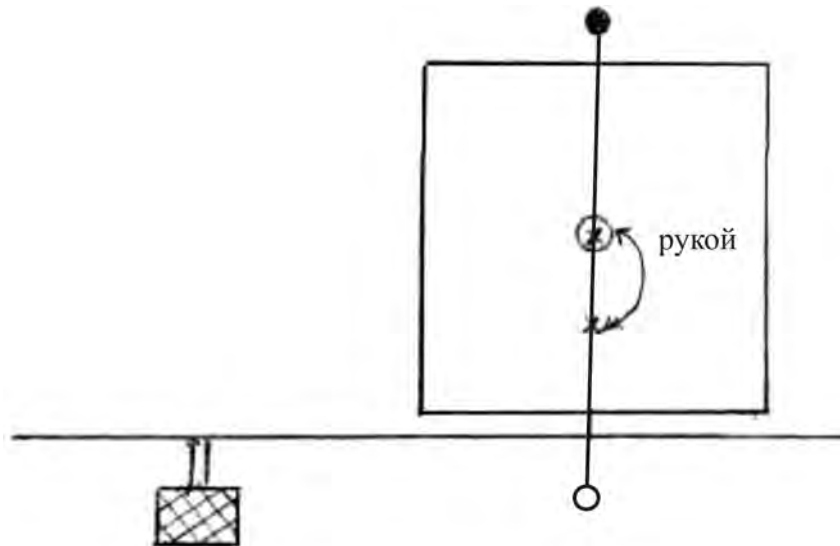


Рис. 17. Центрирование узелков

При бинокулярном рассматривании отцентрированные узелки могут не совпадать по оси  $Y$ . Возникающее двоение устраняют вращением винта зрительного поперечного параллакса. Для этого штурвалом  $X$  перемещают основную каретку так, чтобы и левый и правый узелки при бинокулярном наблюдении проходили через соответствующие центры кассет.

4. Выполняют центрирование снимков: штурвалом  $X$  правую нить наводят на центр правой кассеты. Открыв снимкодержатель правой кассеты, устанавливают снимок так, чтобы правый узелок оказался над центром снимка. Затем аналогичные действия выполняют с левым снимком.

5. Ориентируют снимки по начальному направлению. Перемещая штурвалом  $X$  основную каретку, при бинокулярном наблюдении над центрами снимков вновь появляется двоение узелков по оси  $Y$ . Над правым центром его устраняют вращением наводящего винта шкалы  $\chi_{\text{л}}$ , над левым — микрометрическим винтом шкалы  $\chi_{\text{пр}}$  (рис. 18).

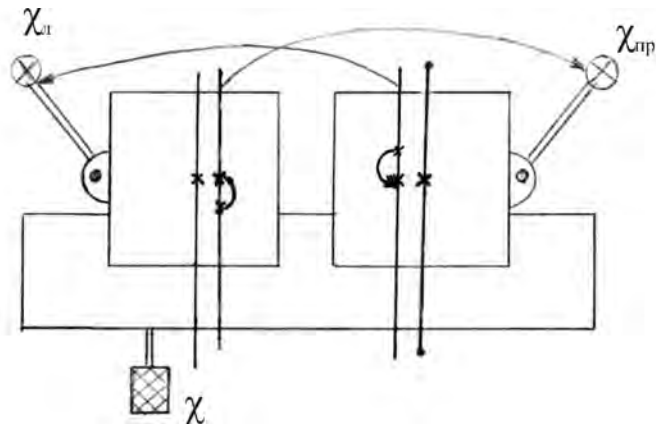


Рис. 18. Ориентирование снимков по начальному направлению

Действия по ориентированию повторяют до тех пор, пока не исчезнет двоение обоих узелков по оси  $Y$ . Результатом ориентирования по начальным направлениям является создание стереоскопической модели.

Для получения измерительнспособной стереоскопической модели включают автоматическую работу коррекционных механизмов.

6. Ориентируют снимки по 4-м высотным точкам (опознакам).

Опознаки на снимке должны иметь стандартное расположение (см. рис. 16). При нестандартном расположении опознаков процесс ориентирования увеличивает количество приближений.

Перед выполнением ориентирования предварительно вычисляют по высотам опорных точек разности продольных параллаксов. Результаты заносят в табл. 8.

**Пример**

$$e_{\text{ср}} = 66,9 \text{ мм}; H_{\text{абс}} = 4516 \text{ м}; H_{\text{нач}} = H_{\text{абс}} - A_4 = 4019 \text{ м}.$$

Таблица 8

**Ориентирования снимков по четырем высотным точкам**

№ точки	$A_i, \text{ м}$	$h_i = A_i - A_{\text{н}}, \text{ м}$	$\Delta P = \frac{e_{\text{ср}} h_i}{H_{\text{нач}} - h_i}, \text{ мм}$	$\Delta P_{\phi} = P_i - P_4, \text{ мм}$
Начальная 4	497,0	0	0	
6	508,4	11,4	0,19	
5	527,8	30,8	0,52	
7	620,4	123,4	2,12	

При отсутствии возможности вычисления установок для корректоров используют не элементы взаимного ориентирования, а высоты опознаков. Измеряют продольные параллаксы на точках 4, 6, 5, 7 и по ним вычисляют разности продольных параллаксов  $\Delta P = P_i - P_{\text{нач}}$ , которые должны быть равными вычисленным по формуле

$$\Delta P = \frac{e_{\text{ср}} h_{i-\text{н}}}{H_{\text{нач}} - h_{i-\text{н}}}. \quad (71)$$

Такое равенство будет идеальным при  $\Delta\alpha = 0, \Delta\chi = 0, \Delta\omega = 0, \Delta H = 0$ .

В противном случае это уравнивание достигается включением в работу корректоров. Для их включения необходимо выполнить 2 действия: взять отсчет по винту продольных параллаксов; установить вычисленные отсчеты по нему для соответствующих точек — опознаков (5, 6, 7).

Наблюдая правым глазом, штурвалом  $X$  наводят правую нить на точку 4 правого снимка. При наблюдении левым глазом видят несовпадение левой нити с точкой 4 на левом снимке. Их совмещают вращением параллактического винта  $P$ , по шкале которого взяли отсчет  $P_4 = 60,45$  мм (рис. 19).

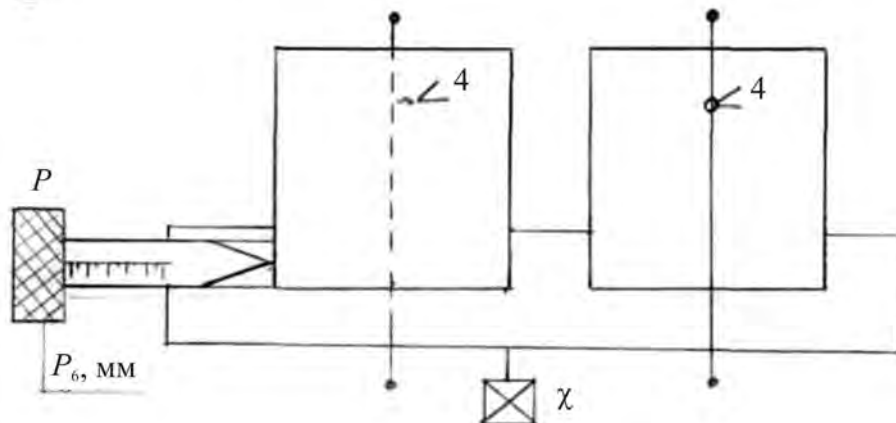


Рис. 19. Взятие отсчета по винту продольных параллаксов

Вычисляют отсчет на точку 6:

$$P_6 = P_4 + \Delta P_{6-4} = 60,45 + 0,19 = 60,64 \text{ мм}$$

и устанавливают этот отсчет по шкале винта продольных параллаксов  $P$ . Штурвалом  $X$  наводят левую нить на точку 6 на левом снимке. Визируя правым глазом, отмечают несовпадение нити с точкой 6 на правом снимке (рис. 20).

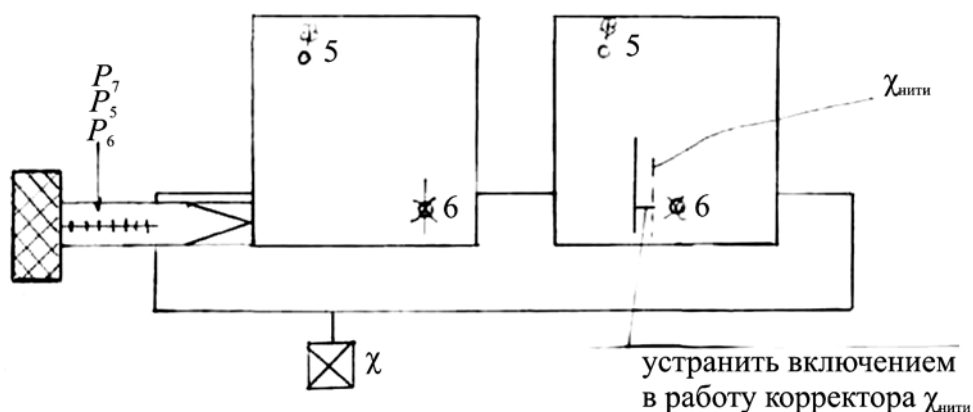


Рис. 20. Установка отсчета по винту продольных параллаксов

Нить передвигают на половину отклонения, действуя корректором  $X_{\text{нити}}$ . Затем вновь наблюдают точку 4 и берут отсчет  $P_4'$ .

$$P_4' = 60,64 \text{ мм.}$$

Вычисляют отсчет на точке 6 по винту  $P$ :

$$P_6' = P_4' + \Delta P_{6-4} = 60,64 + 0,19 = 60,83 \text{ мм.}$$

При установке по параллактическому винту отсчета  $P_6'$  наблюдают совмещение нитей с точкой 6 на левом и правом снимках.

Затем переходят к ориентированию точек 4 и 5. Для этого вычисляют

$$P_5 = P_4'' + \Delta P_{5-4} = 60,64 + 0,52 = 61,16 \text{ мм.}$$

Устанавливают его по шкале винта  $P$ . Двоение нитей при этом отсчете на точку 5 на правом снимке устраняют корректором  $\Delta d$ .

Вычисляют отсчет на точке 7:

$$P_7 = P_4'' + \Delta P_{7-4} = 60,64 + 2,12 = 62,76 \text{ мм.}$$

Устанавливают его по шкале винта  $P$ .

При этом несовпадение правой нити с точкой 7 на правом снимке устраняют на половину корректором  $\beta$ , а другую половину — корректором  $\rho$ :

$$0,5\beta + 0,5\rho.$$

Контролем этих действий является взятие отсчетов на все точки и вычисление разности продольных параллаксов  $\Delta P$ :

$$P_4 = 60,45 \text{ мм; } P_5 = 60,97 \text{ мм; } P_6 = 60,64 \text{ мм; } P_7 = 62,57 \text{ мм;}$$

$$\Delta P_{6-4} = 0,19 \text{ мм; } \Delta P_{7-4} = 2,12 \text{ мм; } \Delta P_{5-4} = 0,52 \text{ мм.}$$

Вычисленные и табличные значения  $\Delta P$  не должны расходиться в пределах 0,03 мм.

7. Выполняют фотограмметрическое нивелирование всех точек трассы.

Стереоскопически берут отсчеты на все точки трассы. Для этого, наблюдая бинокулярно, поочередно наводят штурвалом  $X$  правую нить на наблюдаемые пикетные точки. Видны две нити, при этом всегда левее должна располагаться зеленая нить. Совмещают обе нити параллактическим винтом и берут отсчеты, которые заносят в табл. 9.

### Пример

$$e_{\text{ср}} = 66,9 \text{ мм; } H_{\text{абс}} = 4516 \text{ м; } H_{\text{нач}} = 4019 \text{ м.}$$

Таблица 9

Таблица фотограмметрического нивелирования всех точек трассы

№ точки	Отсчет по винту $P_i$ , мм	$\pm \Delta P = P_i - P_H$ , мм	$\pm h_{i-H} = \frac{\Delta P H_{\text{нач}}}{e_{\text{ср}} + \Delta P}$ , м	$A_i = A_4 + h_{i-H}$ , м
Начальная 4	59,17	0	0	497
НТ (ПК0)	60,10	0,93	55,10	552,10
ПК1	60,13	0,96	56,86	553,86
ПК2	60,14	0,97	57,44	554,44
ПК3	60,14	0,97	57,44	554,44
ПК4	60,16	0,99	58,61	555,61

№ точки	Отсчет по винту $P_i$ , мм	$\pm\Delta P = P_i - P_H$ , мм	$\pm h_{i-H} = \frac{\Delta P H_{нач}}{e_{cp} + \Delta P}$ , м	$A_i = A_4 + h_{i-H}$ , м
НК	60,19	1,02	60,36	557,36
ПК5	60,19	1,02	60,36	557,36
ПК6	60,26	1,09	64,43	561,43
ПК7	60,31	1,14	67,34	564,34
ПК8	60,46	1,29	76,03	573,03
ПК9	60,50	1,33	78,34	575,34
ПК10	60,49	1,32	77,76	574,76
ПК11	60,66	1,49	87,56	584,56
ПК12	60,72	1,55	91,01	588,01
СК	60,80	1,63	95,59	592,59
ВУ	60,80	1,63	95,59	592,59
ПК13	60,80	1,63	95,59	592,59
ПК14	60,98	1,81	105,87	602,87
ПК15	61,14	1,97	114,96	611,96
ПК16	61,21	2,04	118,93	615,93
ПК17	61,26	2,09	121,75	618,75
ПК18	61,34	2,17	126,27	623,27
ПК19	61,33	2,16	125,70	622,70
ПК20	61,42	2,25	130,77	627,77
КК	61,75	2,58	149,24	646,24
ПК21	61,77	2,60	150,35	647,35
КТ	61,78	2,61	150,91	647,91

По вычисленным отметкам точек ПК строится продольный профиль трассы.

#### 4.7. Устройство стереокомпаратора фирмы «КАРЛ ЦЕЙСС ЙЕНА»

Стереокомпаратор является высокоточным прибором и применяется для точечной обработки снимков в аэрогеодезии, топографии и астрономии. Измерения могут выполняться при минимальных затратах времени с передачей результатов измерений на компьютер для дальнейшей математической обработки. Используя стереокомпаратор, можно очень точно определять координаты точек, измерять продольные и поперечные параллаксы, вычислять элементы взаимного ориентирования, которые необходимы для включения корректоров в работу ( $\tau_l$ ,  $\tau_{пр}$ ,  $\epsilon$ ) стереометра.

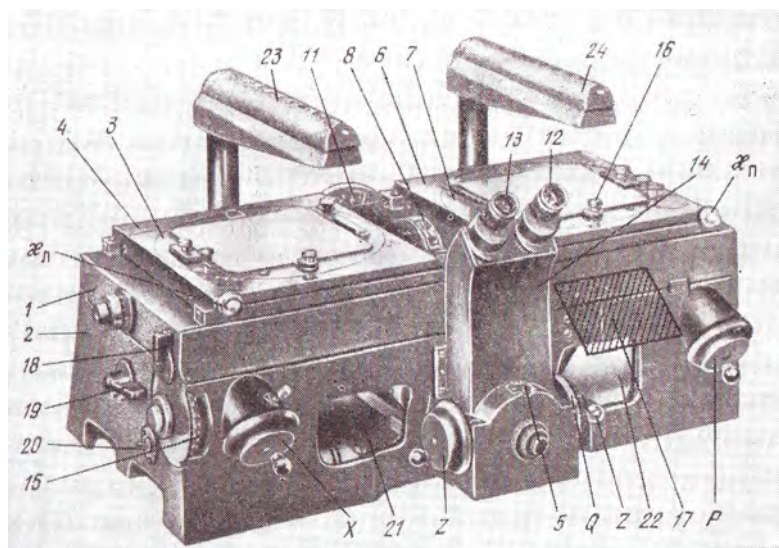
*Конструктивные особенности стереокомпаратора (рис. 21):*

1. Бинокляр стереоскопического микроскопа неподвижен.
2. Оператор рассматривает точки при неизменном положении глаз.
3. Имеется отдельная фокусировка стереомикроскопа левого и правого изображений.
4. Кассеты имеют стеклянное основание, куда укладываются фотограммы (фотопластинка или фотопленка).
5. Обеспечено наблюдение негативов на стеклянных фотопластинках или на пленках без изменения фокусировки.

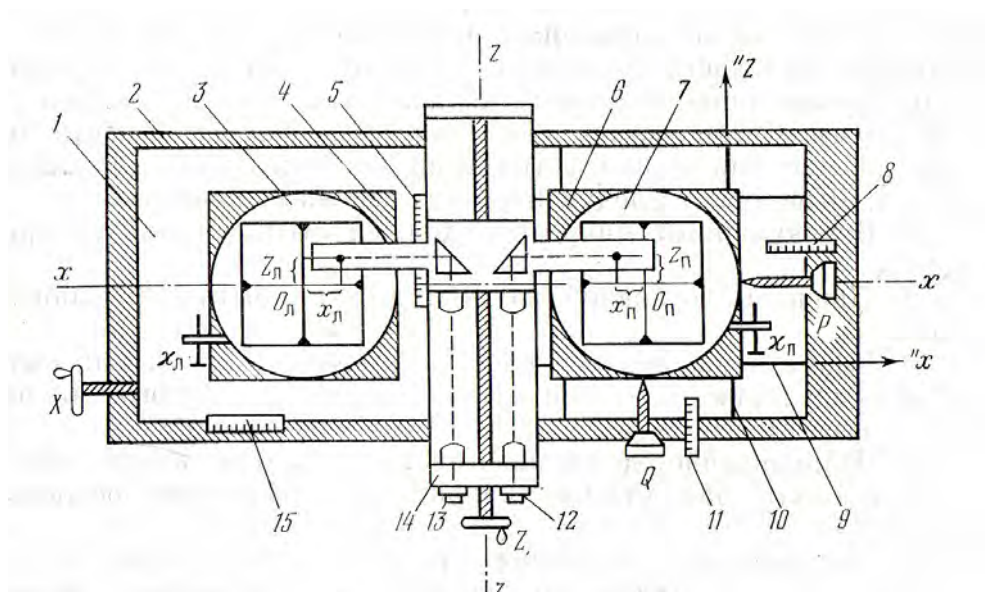
6. Позитивные отпечатки на основе разной толщины могут фокусироваться отдельно.

7. Пленки любого формата до максимальной величины ( $186 \times 186$  мм) выравниваются путем наложения покровных стеклянных пластин.

8. Отсчеты координат снимков и параллаксов осуществляются по измерительным барабанам, обеспечивающим высокую точность.



*a*



*б*

Рис. 21. Внешний вид (*a*) и основные части (*б*) стереокомпаратора СК 18 18: 1 — основная каретка; 2 — станина; 3 — левая кассета; 4 — левая каретка; 5 — шкала, регистрирующая величину перемещения измерительных марок по оси  $Z$ ; 6 — правая кассета; 7 — правая каретка; 8 — шкала продольных параллаксов; 9 — направляющие движение винта продольных параллаксов; 10 — направляющие движение винта поперечных параллаксов; 11 — шкала поперечных параллаксов; 12, 13 — правый и левый неподвижные окуляры; 14 — бинокулярный микроскоп; 15 — шкала, регистрирующая перемещение основной каретки по оси  $X$ ; 16 — зажимы для закрепления снимков на кассетах; 17 — пульт для установки фотоотпечатка; 18, 19 — рычаги, фиксирующие неподвижность основной каретки; 20 — выключатель; 21, 22 — осветитель снимков снизу; 23, 24 — осветитель снимков сверху;  $X$  — штурвал для перемещения фотоснимков совместно с основной кареткой;  $Z$  — штурвал для дополнительного перемещения правой каретки по оси  $Z$ ;  $P$  — винт продольных параллаксов;  $Q$  — винт поперечных параллаксов




*Оптическая система стереоскопического микроскопа:*

увеличение —  $8^x$ ;

диаметр выходного зрачка — 3 мм;

диаметр поля зрения — 16 мм.

Острота зрения оператора настраивается в пределах  $\pm 5$  диоптрий путем поворотов наглазников окуляров. Совместный поворот окуляров позволяет установить глазной базис от 52 до 76 мм. В поле зрения микроскопа имеются измерительные марки в виде креста  $\oplus$  и грибка 

*Осветительные устройства наблюдательной системы*

Две специальные лампы освещают негативы сверху, а фотопластинки и фотопленки снизу при помощи переключателя.

*Технические характеристики:*

1. Максимальный полезный формат снимков  $186 \times 186$  мм.
2. Максимальный формат фотопластинок  $188 \times 199$  мм.
3. Увеличение стереоскопического микроскопа  $8^x$ .
4. Параметры крестообразных марок:  
расстояние от острия центральной марки 5 мм;  
высота центральной марки 0,35 мм;  
диаметр точечной марки 0,05 мм.
5. Цена делений измерительных барабанов:  
для абсцисс  $X$  0,01...0,02 мм;  
для ординат  $Y = Z$  0,01...0,02 мм;  
для продольных параллаксов  $P_X$  0,001...0,005 мм;  
для поперечных параллаксов  $P_Y = P_Z$  0,01...0,002 мм.
6. Диапазоны измерений:  
для абсцисс  $X$  до 235 мм;  
для ординат  $Y = Z$  до 180 мм;  
для продольных параллаксов  $P_X$  до 75 мм;  
для поперечных параллаксов  $P_Y = P_Z$  до  $\pm 10$  мм.
7. Диапазон перемещения вспомогательной салазки для левого снимка при нормальном продолжении фотограмм и  $P_X = 0$ :  
во внутреннем направлении до 37 мм;  
во внешнем направлении до 19 мм;
8. Диапазон крена снимков до  $400^G$  ( $360^\circ$ ).
9. Электропитание 220 В, 50 Гц.
10. Потребляемая мощность 50 Ватт.
11. Вес стереокомпаратора 132 кг.

### **Аналитический способ определения элементов взаимного ориентирования**

Для определения элементов взаимного ориентирования используют опознаки, расположенные на аэроснимках стандартно (рис. 22) в соответствии с координатами, приведенными в табл. 10.

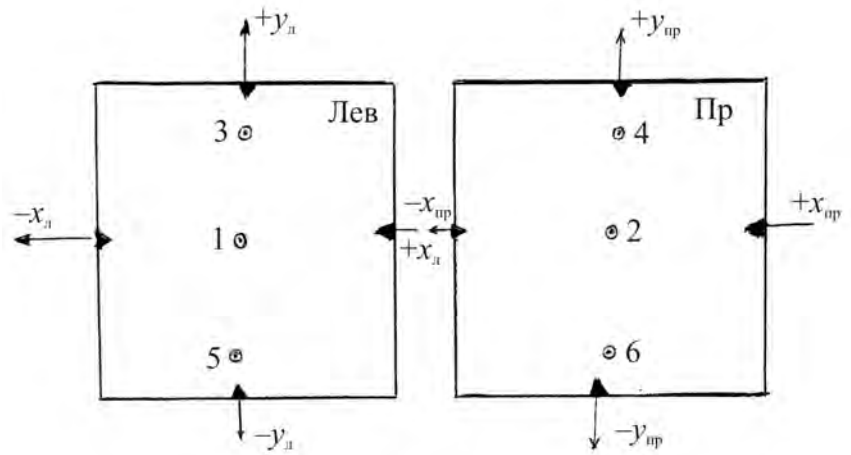


Рис. 22. Стандартная схема расположения точек

Таблица 10

**Координаты стандартного расположения точек на аэроснимках**

№ точки	$x_{л}$	$x_{пр}$	$y_{л}$	$y_{пр}$
1	0	- $\epsilon$	0	0
3	0	- $\epsilon$	$+y_{max}$	$+y_{max}$
5	0	- $\epsilon$	$-y_{max}$	$-y_{max}$
2	$\epsilon$	0	0	0
4	$\epsilon$	0	$+y_{max}$	$+y_{max}$
6	$\epsilon$	0	$-y_{max}$	$-y_{max}$

Существует математическая связь между координатами, поперечным параллаксом и элементами взаимного ориентирования

$$q = \frac{x_{л}y_{л}}{f_k \rho} \tau_{л} + \frac{x_{л}y_{пр}}{f_k \rho} \tau_{пр} - \frac{f_k - y_{л}y_{пр}}{L} \epsilon + x_{л}\chi_{л} - x_{пр}\chi_{пр}. \quad (72)$$

Используя стереокомпаратор, определяют поперечные параллаксы точек в миллиметрах:

$$\begin{aligned} q_1 = & & q_4 = & & q = y_{пр} - y_{л} & \text{— поперечные параллаксы} \\ q_2 = & & q_5 = & & P = x_{пр} - x_{л} & \text{— продольные параллаксы} \\ q_3 = & & q_6 = & & & \end{aligned}$$

Компьютерная программа обработки результатов включает вычисление их разности в миллиметрах:

$$\begin{aligned} q_3 - q_5 = & \\ q_4 - q_6 = & \\ q_3 + q_5 - 2q_1 = & \\ q_4 + q_6 - 2q_2 = & \end{aligned}$$

Расчет элементов взаимного ориентирования:

$$\tau_{пр} = \left[ -\frac{f}{2\epsilon y} (q_3 - q_5) \right] \rho; \quad (73)$$

$$\tau_{\text{л}} = \left[ -\frac{f}{2\delta y} (q_4 - q_6) \right] \rho; \quad (74)$$

$$\varepsilon = \left[ -\frac{f}{2y^2} (q_3 + q_5 - 2q_1) \right] \rho; \quad (75)$$

$$\varepsilon = \left[ -\frac{f}{2y^2} (q_4 + q_6 - 2q_2) \right] \rho; \quad (76)$$

$$\rho^\circ = 57,3^\circ;$$

$$\rho' = 3438';$$

$$\rho'' = 206265''.$$

Значения углов  $\chi_{\text{л}}$  и  $\chi_{\text{сп}}$  получают при ориентировании снимков на стереокомпараторе по начальному направлению.

#### Список рекомендуемой литературы

1. Инженерная геодезия (с основами геоинформатики) / под ред. проф. С. И. Матвеева. — М. : ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2007.
2. Матвеев, С. И. Высокочастотные цифровые модели пути и спутниковая навигация железнодорожного транспорта / С. И. Матвеев, В. А. Коугия. — М. : ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2005.
3. Фельдман, М. И. Лабораторный практикум по фотограмметрии и стереофотограмметрии / М. И. Фельдман, К. И. Макаренко, Б. М. Денисюк. — М. : Недра, 1989.
4. Федоров, М. И. Инженерная аэрогеодезия / М. И. Федоров. — М. : Недра, 1988.
5. Буденков, Н. А. Курс инженерной геодезии / Н. А. Буденков, П. А. Нехорошков, О. Г. Щекова. — Йошкар-Ола : МарГТУ, 2011.
6. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия : учебник для вузов / А. Н. Лобанов, М. И. Буров, Б. В. Краснопевцев. — М. : Недра, 1987.

План выпуска учеб.-метод. документ. 2013 г., поз. 21

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*  
Зав. редакцией *О. А. Шипунова*  
Редактор *Р. В. Худадян*  
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*

Подписано в свет 03.07.2013.  
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 3,2. Объем данных 14,3 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
Редакционно-издательский отдел  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1  
<http://www.vgasu.ru>, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)