

# Задание №1. Расчет основных параметров аэрофотосъемки

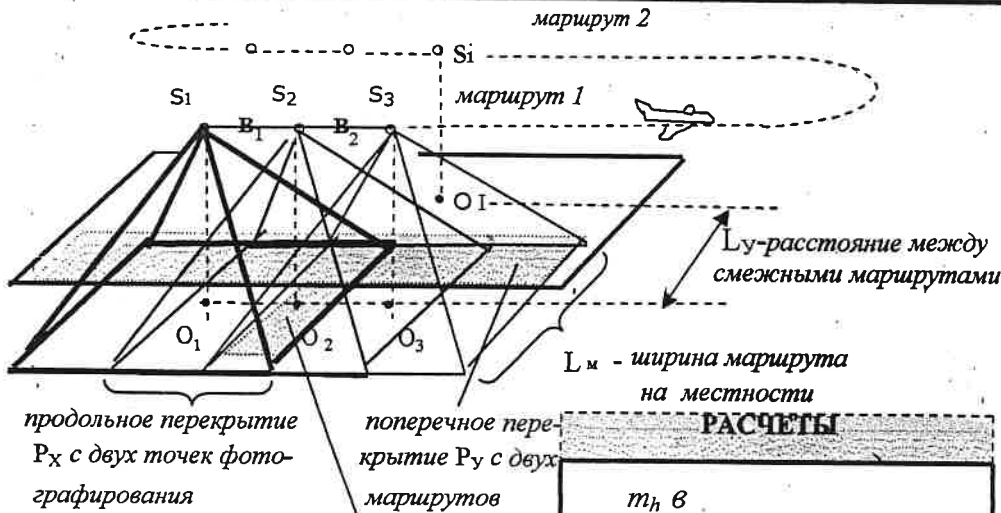


Рис. 1 тройное продольное перекрытие с трех точек фотографирования

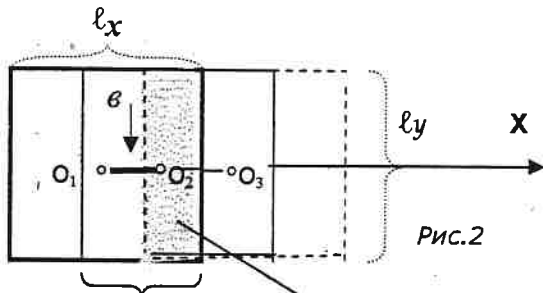


Рис. 2 продольное перекрытие Pх двух снимков

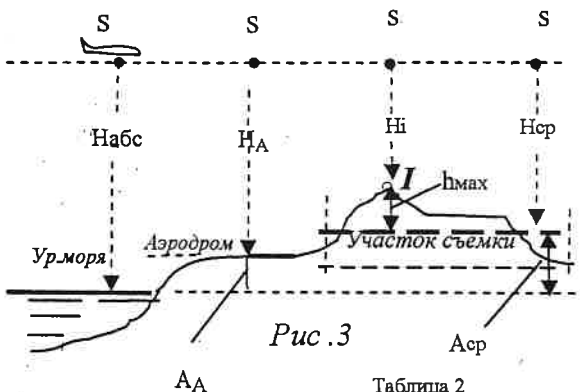


Рис. 3

Таблица 2

Характеристики	Самолеты			Вертолеты	
	АН-30	ИЛ-14	АН-2	МИ-8	КА-8
крейсерская скорость км/ч	350-400	290-320	150-190	205-220	240
дальность, км	2300	2100	1200	640	400

Таблица 3

Характеристика	Тип аэрофотоаппарата			
	ТЭ-70С	ТЭС-7	ТЭС-10М	ТАФА-10
фокусное расстояние мм	70	72	100	100
диапазон выдержек	1/50-1/440с	1/70-1/850с	1/70-1/700с	1/75-1/1000с

## РАСЧЕТЫ

$$m_h \text{ в}$$

$$f = \frac{H_{сп}}{m_{\Delta p}} =$$

f округлить до ближн. значения в Табл 3

$$H_{сп} = f m_{\Delta p} =$$

$$H_{абс} = H_{сп} + A_{сп} =$$

$$H_A = H_{абс} - A_A =$$

$$P_x = \left( 60 + \frac{50 h_{\max}}{H_{сп}} \right) \% =$$

$$P_y = \left( 35 + \frac{65 h_{\max}}{H_{сп}} \right) \% =$$

$$L_M = \frac{\ell_y m_{\Delta p}}{\ell_y (100\% - P_y)} =$$

$$L_y = \frac{L_M}{100\%} m_{\Delta p} =$$

$$V = \frac{\ell_x (100\% - P_x\%) m_{\Delta p}}{100\%} =$$

$$N_{сн} = \frac{D_x}{B} + 3 =$$

$$N_M = \frac{D_y}{L_y} + 1 =$$

$$N_{уч} = N_M N_{сн} =$$

$$\ell = 19 \text{ см } N_{уч} =$$

$$n = \frac{\ell}{\ell_{к-4}} =$$

$$N_M (D_x + 3B)$$

$$L_{уч} = \frac{W}{n} =$$

$$l = \frac{W}{n} =$$

$$t_{\max} \left( \frac{W}{\delta m_{\Delta p}} \right)$$

$$\Delta T = B / W =$$

При расчете параметров проектируемой аэрофотосъемки используют данные в таблицах 1,2,3

Таблица 1

Исходные данные	Значения
№-номер варианта	
Мсп-знаменатель среднего масштаба аэрофотосъемки	9000+10№
Мh - ср. кв. погрешность определения превышения h	0,2 м
b - базис на снимке	70 мм
m Δp - ср. кв. погрешность измерения по стереомодели при определении h	0,015 мм
AA - высота аэродрома	125,00 м
Aсп - средняя высота участка съемки	183,00 м
h max - максимальное превышение местности над Aсп	(35 + №)м
ℓx, ℓy - размеры сторон снимка	18, 18 см
Px max	66%
Dx - длина уч-ка, км	(10+0,1№)
Dy - ширина уч-ка, км	(2+0,1№)
Nm - количество маршрутов	2 или больше
Nсн - количество снимков в маршруте	> 15
ℓ - число погонных метров аэропленки	
n - необходимое число катушек	ℓк = 60м
W - крейсерская скорость самолета, верт	из Табл. 2
l - допустимая выдержка, с	диапазон в табл. 3
Lуч - время аэрофотосъемки участка, мин	
δ - шаг фотозображ.	0,02 мм
ΔT - интервал времени фотографирования, с	

**Пример. Расчет основных параметров аэрофотосъемки для варианта №30**

Исходные данные для №30 :

$$m_{cp} = 9000 + 10 * 30 = 9300 ; h_{max} = 35 + 30 = 65 \text{ м} ; D_x = 10 + 0.1 * 30 = 13 \text{ км} ; D_y = 2 + 0.1 * 30 = 5 \text{ км}$$

**Расчеты**

$$f = \frac{0,2 \text{ м} * 70 \text{ мм}}{9300 * 0,015 \text{ мм}} = 0,10036 \text{ м} = 100,36 \text{ мм}$$

Для последующих расчетов выбирают из Таблицы 3 ближайшее значение  $f = 100 \text{ мм}$ .

$$H_{cp} = 100 \text{ мм} * 9300 = 930000 \text{ мм} = 930 \text{ м}$$

$$H_{abc} = 930 \text{ м} + 183 \text{ м} = 1113 \text{ м}$$

$$H_A = 1113 \text{ м} - 125 \text{ м} = 988 \text{ м}$$

$$P_x = \left( 60 + \frac{50 * 65 \text{ м}}{930 \text{ м}} \right) \% = 63,49 \% . P_x < P_{max} < 66\% \text{ при } \frac{h_{max}}{H_{cp}} < 0,2 ; \left( \frac{65 \text{ м}}{930 \text{ м}} = 0,07 \right)$$

$$P_y = \left( 35 + \frac{65 * 65 \text{ м}}{930 \text{ м}} \right) \% = 39,54 \%$$

$$L_M = 18 \text{ см} * 9300 = 167400 \text{ см} = 1674 \text{ м}$$

$$L_y = \frac{18 \text{ см} (100 \% - 39,54 \%)}{100 \%} * 9300 = 101210 \text{ см} = 1012 \text{ м}$$

$$B = \frac{18 \text{ см} (100 \% - 63,49 \%)}{100 \%} * 9300 = 61118 \text{ см} = 611,18 \text{ м}$$

$$N_{сн} = \frac{13 \text{ км}}{0,61118 \text{ км}} + 3 = 24,3 = 24 \text{ снимка}$$

$$N_M = \frac{5 \text{ км}}{1,012 \text{ км}} + 1 = 5,9 = 6 \text{ маршрутов}$$

$$N_{уч} = 6 * 24 = 144 \text{ снимка}$$

$$\ell = \frac{19 \text{ см} * 144}{27,4 \text{ м}} = 2736 \text{ см} = 27,4 \text{ м}$$

$$n_k = \frac{27,4 \text{ м}}{60 \text{ м} - 4 \text{ м}} = 0,49 \text{ катушки} . \text{ Достаточно одной катушки со стандартной длиной пленки } 60 \text{ м} .$$

При аэрофотосъемке с АН-2 со скоростью  $W=190 \text{ км/ч}$  (см.Табл.2) время съемки Туч. равно  $6 (13 \text{ км} + 3 * 0,61118 \text{ км}) 60 \text{ мин}$

$$T_{уч.} = \frac{6 (13 \text{ км} + 3 * 0,61118 \text{ км}) 60 \text{ мин}}{190 \text{ км}} = 28,1 \text{ мин}$$

$$\frac{1}{t_{max}} = \frac{1}{\left( \frac{190000000 \text{ мм}}{0,02 \text{ мм} * 3600 \text{ с} * 9300} \right)} = \frac{1}{284} \text{ с}$$

Если аэрофотосъемка выполнена ТАФА – 10 с минимальной выдержкой  $1/1000 \text{ с}$ , то по формуле  $1/t$  сдвиг фотоизображения  $\delta = 0,006 \text{ мм}$  и будет меньше погрешности фотограмметрических измерений точек снимков .

$$\Delta T = \frac{611,18 \text{ м} * 3600 \text{ с}}{190000 \text{ м}} = 11,6 \text{ с}$$



4-960-7-14-3399  
IX







**Задание № 2. Расчёт геодезических координат точек ЦММ по данным построения аналитической маршрутной фототриангуляции (аэрофотоснимки № 3399, № 3400, № 3401)**

Координаты и параллаксы определяемых точек измерены на снимках, ориентированных по линиям, которые проходят через главные точки  $O_L, O_P$  снимков.

Таблица № 1

Номер точки	Отсчёты по шкалам, мм			
	$\bar{x}_L$	$\bar{y}_L$	$\bar{p}$	$\bar{q}$
$O_L, O_P$	119.28 МОx	94.87 МОy	6.980 МОp	11.110 МОq
319	141.61	154.82	72.005	10.735
326	150.54	153.29	71.790	10.740
327	159.95	151.81	71.580	10.738
328	146.44	148.32	71.913	10.785
329	153.35	147.46	71.755	10.770
330	160.23	146.72	71.534	10.754
331	146.26	140.78	71.887	10.840
332	153.62	140.32	71.676	10.827
333	159.75	138.42	71.557	10.848
344	154.69	131.38	71.618	10.890
346	157.56	125.81	71.427	10.931
347	153.81	127.13	71.548	10.932
348	150.18	131.27	71.713	10.900
367	149.22	126.90	71.605	10.900
370	146.36	120.90	71.404	10.936
371	152.10	120.90	71.386	10.951
372	158.22	120.90	71.305	10.948
376	150.12	114.90	71.212	10.970
377	156.14	114.90	71.130	10.965
383	157.00	108.90	70.947	11.005
400	147.85	88.23	70.182	11.132
401	151.48	89.50	70.100	11.113
402	155.61	88.53	70.100	11.116
403	157.70	88.14	70.121	11.120
404	160.12	88.91	70.165	11.108
405	160.41	91.58	70.222	11.101
408	140.36	98.55	71.146	11.073
409	142.65	100.54	71.030	11.063
410	144.69	96.37	70.853	11.077
411	149.32	95.87	70.690	11.113
412	154.32	96.98	70.633	11.073
413	155.01	94.90	70.544	11.082
421	140.93	75.09	70.343	11.181
424	133.22	78.43	71.127	11.176

Определяемую точку принимают за начало трассы (нт), или конец трассы (кт). Для примера выполним преобразование измеренных координат  $\bar{x}_L, \bar{y}_L$  и параллаксов  $\bar{p}$  и  $\bar{q}$  точки № 319 на стереопаре 3400 - 3401 в геодезические координаты  $X_T, Y_T, Z_T$  на местности.

1. Вычисление  $x_L, y_L, x_P, y_P$ .  
Плоские координаты вычисляются по формулам (1) в системе координат  $x-x, y-y$  каждого снимка, представленной на рис. 1.

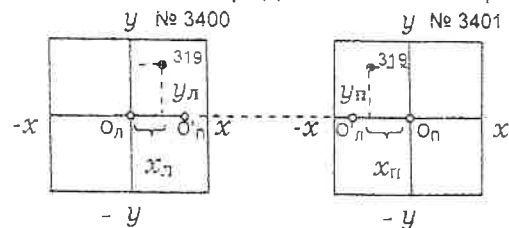


Рис. 1. Координаты  $x_L, y_L, x_P, y_P$  на снимках

$$\left. \begin{aligned} x_L &= 22.33 \text{ мм}, & x_L &= \bar{x}_L - \text{МО } x \\ y_L &= 59.95 \text{ мм}, & y_L &= \bar{y}_L - \text{МО } y \\ p &= 65.025 \text{ мм}, & p &= \bar{p} - \text{МО } p \\ q &= -0.375 \text{ мм}, & q &= \bar{q} - \text{МО } q \\ x_P &= -42.695 \text{ мм}, & x_P &= x_L - p \\ y_P &= 60.325 \text{ мм}, & y_P &= y_L - q \end{aligned} \right\} (1)$$

2. Расчёт  $x^{\circ}_L, y^{\circ}_L, x^{\circ}_P, y^{\circ}_P$  по элементам взаимного ориентирования снимков.

$$\left. \begin{aligned} x^{\circ} &= -f \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ y^{\circ} &= -f \frac{e_1 x + e_2 y - e_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{aligned} \right\} (2)$$

где  $a_i, e_i, c_i$  - направляющие косинусы, вычисляемые для каждого снимка по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa \\ a_2 &= -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \cos \kappa \\ a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega \\ e_1 &= \cos \omega \sin \kappa \\ e_2 &= \cos \omega \cos \kappa \\ e_3 &= -\sin \omega \\ c_1 &= \sin \alpha \cos \kappa + \cos \alpha \sin \omega \sin \kappa \\ c_2 &= -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \alpha \sin \omega \cos \kappa \\ c_3 &= \cos \alpha \cos \omega \end{aligned} \right\} (3)$$

При расчёте  $x^{\circ}_л, y^{\circ}_л$  точки № 319 на снимке № 3400 подставляют в формулы ( 3 ) углы  $\alpha'_л, \omega'_л, \chi'_л$ , а в формулы ( 2 ) – координаты  $x_л, y_л$ . Координаты  $x^{\circ}_п, y^{\circ}_п$  точки № 319 на снимке № 3401 вычисляют по углам  $\alpha'_п, \omega'_п, \chi'_п$  и координатам  $x_п, y_п$ . Используя данные в таблице 2, вычисленные координаты по формулам (1) и  $f = 99.87$  мм, получим :

$$x^{\circ}_л = - 99.87 \frac{0.999958 (22.33) + 0.003258 (59.95) - (- 0.008523) 99.87}{0.008523 (22.33) + 0.000028 (59.95) - (0.999964) 99.87} = 23.421 \text{ мм.}$$

Таблица № 2

Элементы взаимного ориентирования снимков и направляющие косинусы	Левый снимок № 3400	Правый снимок № 3401
$\alpha'$	$0^{\circ}.4883333$	$0^{\circ}.4608333$
$\omega'$	$0^{\circ}$	$- 0^{\circ}.132000$
$\chi'$	$- 0^{\circ}.1856667$	$- 0^{\circ}.222000$
$a_1$	$0.999958$	$0.999960$
$a_2$	$0.003258$	$0.003893$
$a_3$	$- 0.008523$	$- 0.008043$
$b_1$	$- 0.003258$	$- 0.003875$
$b_2$	$0.999995$	$0.999990$
$b_3$	$0$	$0.002304$
$c_1$	$0.008523$	$0.008052$
$c_2$	$0.000028$	$- 0.002273$
$c_3$	$0.999964$	$0.999965$

Таблица № 3

Элементы взаимного ориентирования двух моделей и направляющие косинусы	Значения
$Xs_2$	$968.31 \text{ м}$
$Ys_2$	$- 5.54 \text{ м}$
$Zs_2$	$0.19 \text{ м}$
$t$	$1.006917$
$\alpha_m$	$- 0^{\circ}.2007596$
$\omega_m$	$0^{\circ}.7773137$
$\chi_m$	$- 0^{\circ}.3935064$
$a_1$	$0.9999699$
$a_2$	$0.0069153$
$a_3$	$0.0035035$
$b_1$	$- 0.0068672$
$b_2$	$0.9998843$
$b_3$	$- 0.0135662$
$c_1$	$- 0.0035969$
$c_2$	$0.0135418$
$c_3$	$0.9999018$

Остальные трансформированные координаты равны :

$$y^{\circ}_л = 59.994 \text{ мм. } x^{\circ}_п = - 41.457 \text{ мм.}$$

$$y^{\circ}_п = 59.973 \text{ мм.}$$

$$\text{Контроль : } y^{\circ}_л - y^{\circ}_п = q^{\circ} = 0.021 \text{ мм.}$$

$$q^{\circ} \text{ доп. } < 0.03 \text{ мм.}$$

Углы  $\alpha', \omega', \chi'$  определены при помощи поперечных параллаксов точек на стереопаре и уравнения взаимного ориентирования снимков .

3. Вычисление фотограмметрических координат т. № 319 в системе  $S_2 X' Y' Z'$  с базиса фотографирования  $B_2 = 965 \text{ м}$  ( см . рис . 2 ) .

$$X' = \frac{B_2 x^{\circ}_л}{x^{\circ}_л - x^{\circ}_п} = \frac{965 (23.421)}{64.878} = 348.366 \text{ м.}$$

$$Y' = \frac{B_2 y^{\circ}_л}{x^{\circ}_л - x^{\circ}_п} = \frac{965 (59.994)}{64.878} = 892.355 \text{ м.}$$

$$Z' = \frac{- B_2 f}{x^{\circ}_л - x^{\circ}_п} = \frac{- 965 (99.87)}{64.878} = - 1485.473 \text{ м}$$



#### 4. Преобразование координат $X', Y', Z'$ в координаты $X, Y, Z$ относительно т. $S_1$ .

При преобразовании координат  $X', Y', Z'$  точек второй модели в систему координат  $S_1, X, Y, Z$  первой модели используют элементы взаимного ориентирования двух моделей, которые определяют с помощью контурных связующих точек  $K_i$  в тройном продольном перекрытии снимков № 3399, № 3400, № 3401 (см. рис. 3) и формул преобразования координат. Указанные в таблице 3 вероятнейшие значения элементов ориентирования второй модели относительно первой  $X_{s_2}, Y_{s_2}, Z_{s_2}, t, \alpha_m, \omega_m, \chi_m$  были определены при помощи шести связующих точек по способу наименьших квадратов. По углам  $\alpha_m, \omega_m, \chi_m$  вычислены направляющие косинусы.

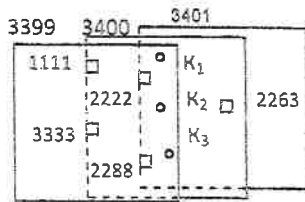


Рис. 3. Схема расположения связующих и опорных точек:  
 ○ - связующие точки  $K_1 - K_3$ ;  
 □ - опорные точки 1111 - 2263

Преобразование координат выполняют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_{s_2} + (a_1 X' + a_2 Y' + a_3 Z') t \\ Y &= Y_{s_2} + (e_1 X' + e_2 Y' + e_3 Z') t \\ Z &= Z_{s_2} + (c_1 X' + c_2 Y' + c_3 Z') t \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Используя данные в таблице 3, получим:

$$X = 968.31 + [0.9999699 (348.366) + 0.0069153 (892.355) + 0.0035035 (-1485.473)] 1.006917 = 1320.048 \text{ м.}$$

Координаты  $Y, Z$  равны:  $Y = 910.766 \text{ м}, Z = -1484.505 \text{ м.}$

Таблица № 4

Элементы внешнего ориентирования модели и направляющие косинусы	Значения
$X_{gs_1}$	40218.94 м
$Y_{gs_1}$	17952.49 м
$Z_{gs_1}$	1715.75 м
$t$	0.9981762
$\alpha_g$	$-0^\circ.1144806$
$\omega_g$	$-0^\circ.3911059$
$\chi_g$	$-2^\circ.6333591$
$a_1$	0.9989425
$a_2$	0.0459309
$a_3$	0.0019980
$e_1$	-0.0459435
$e_2$	0.9989207
$e_3$	0.0068260
$c_1$	-0.0016823
$c_2$	-0.0069106
$c_3$	0.9999747

#### 5. Вычисление геодезических координат точки № 319.

Фотограмметрические координаты  $X, Y, Z$  точки № 319 преобразуют в геодезические координаты  $X_g, Y_g, Z_g$  при помощи семи элементов внешнего ориентирования единой модели  $X_{gs_1}, Y_{gs_1}, Z_{gs_1}, t, \alpha_g, \omega_g, \chi_g$ , которые указаны на рис. 2, а их значения даны в таблице № 4. Эти элементы внешнего (геодезического) ориентирования определены по способу наименьших квадратов с применением пяти опорных геодезических точек, изобразившихся на снимках № 3399, № 3400, № 3401 (см. рис. 3). Расчёт направляющих косинусов выполнен по формулам (3) с использованием углов  $\alpha_g, \omega_g, \chi_g$ . Геодезические координаты точки № 319 вычисляют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_g &= X_{gs_1} + (e_1 X + e_2 Y + e_3 Z) t, \\ Y_g &= Y_{gs_1} + (a_1 X + a_2 Y + a_3 Z) t, \\ Z_g &= Z_{gs_1} + (c_1 X + c_2 Y + c_3 Z) t \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Произведём расчёт  $X_g$ :

$$X_g = 40218.94 + [(-0.0459435) 1320.048 + 0.9989207 (910.766) + 0.0068260 (-1484.505)] 0.9981762 = 41056.412 \text{ м.}$$

Координаты  $Y_g, Z_g$ , вычисленные по формулам (5), равны:

$$Y_g = 19307.532 \text{ м}, Z_g = 225.491 \text{ м.}$$



6. Вычисление геодезических координат точки № 319 , исправленных за деформацию модели .

Модель местности , построенная по аэрофотоснимкам № 3399, № 3400, № 3401 и ориентированная по опорным геодезическим точкам , деформирована вследствие геометрических ошибок снимков под влиянием дисторсии объектива АФА , деформации снимков и др. факторов , а также из-за измерительных и методических ошибок при обработке снимков . Общая деформация модели состоит из систематических и случайных искажений . Систематическую деформацию приближённо описывают степенными полиномами . В нашем случае, для короткого маршрута из трёх снимков, исправленные геодезические координаты вычисляют при помощи полиномов по формулам :

$$\left. \begin{aligned} X_{Г\text{исп.}} &= X_{Г} + A_0 + A_1 X_{Г} + A_2 Y_{Г} + A_3 X_{Г} Y_{Г} + A_4 Y_{Г}^2 \\ Y_{Г\text{исп.}} &= Y_{Г} + B_0 + B_1 X_{Г} + B_2 Y_{Г} + B_3 X_{Г} Y_{Г} + B_4 Y_{Г}^2 \\ Z_{Г\text{исп.}} &= Z_{Г} + C_0 + C_1 X_{Г} + C_2 Y_{Г} + C_3 X_{Г} Y_{Г} + C_4 Y_{Г}^2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Значения коэффициентов  $A_i$  ,  $B_i$  ,  $C_i$  , указанные в таблице 5 , определяли из решения трёх систем уравнений – полиномов по способу наименьших квадратов с использованием шести опорных геодезических точек .

Геодезические координаты опорных точек предварительно уменьшали для  $X_{Г}$  на 40 200 м , а для  $Y_{Г}$  - на 19 000 м . На такие же значения уменьшают  $X_{Г}$  и  $Y_{Г}$  точки № 319 при коэффициентах  $A_i$  ,  $B_i$  ,  $C_i$  , а затем вычисляют исправленные геодезические координаты точки № 319 по формулам ( 6 ) .

Таблица № 5

Коэффициенты	Значения
$A_0$	- 0.183
$A_1$	0.000 717
$A_2$	0.000 084
$A_3$	0.000 000 8857
$A_4$	0.000 000 2620
$B_0$	- 0.013
$B_1$	0.000 941
$B_2$	- 0.001 509
$B_3$	0.000 003 2475
$B_4$	- 0.000 001 5148
$C_0$	- 0.297
$C_1$	0.000 030
$C_2$	- 0.000 046
$C_3$	- 0.000 000 033
$C_4$	0.000 001 022

Преобразуем координаты точки № 319 :

$$X_{Г^*} = 41056.412 \text{ м} - 40200 \text{ м} = 856.412 \text{ м}; \quad Y_{Г^*} = 19307.532 \text{ м} - 19000 \text{ м} = 307.532 \text{ м}.$$

Рассчитаем  $X_{Г\text{исп.}}$ :

$$X_{Г\text{исп.}} = 41056.412 - 0.183 + 0.000 717 ( 856.412 ) + 0.000 084 ( 307.532 ) + 0.000 000 8857 ( 856.412 ) ( 307.532 ) + 0.000 000 2620 ( 307.532 )^2 = 41 057.13 \text{ м}.$$

Координаты  $Y_{Г\text{исп.}}$  ,  $Z_{Г\text{исп.}}$  равны :  $Y_{Г\text{исп.}} = 19 308.57 \text{ м}; \quad Z_{Г\text{исп.}} = 225.29 \text{ м}.$

## Определение высоты точки трассы

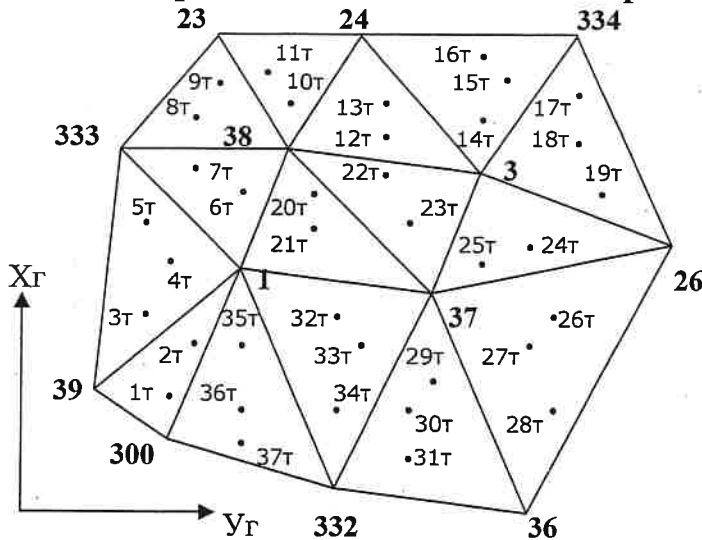


Таблица 1

A	B	C	D	E	F
-0.0014649	-0.0003226	-0.0005983	-0.0165113	-0.1494795	15.192076

**Вычислить высоту заданной точки двумя способами.**

### 1 способ

Используя исходные геодезические координаты \$X\_g, U\_g, Z\_g\$ трех точек-вершин треугольника и плановые координаты \$X\_g, U\_g\$ определяемой точки \$i\_t\$ рассчитать высоту точки \$Z\_g\$ при помощи уравнения плоскости

$$Z_g = A X_g + B U_g + C$$

Пример определения высоты точки трассы \$Z\_{пк10}\$ (Н пк10) прилагается.

### 2 способ

Вычислить высоту точки \$Z\_g\$, используя уравнение поверхности 2-го порядка: \$Z\_g = A X\_g^2 + B X\_g U\_g + C U\_g^2 + D X\_g + E U\_g + F\$. Коэффициенты \$A, B, C, D, E, F\$ определялись по способу наименьших квадратов при совместном решении уравнений поверхности 2-го порядка, составленных для всех точек-вершин треугольников с известными координатами \$X\_g, U\_g, Z\_g\$. При расчете коэффициентов т.37 принята за исходную с координатами \$X\_g = U\_g = 0\$ м, \$Z\_g = 205.76\$ м – 190 м. Поэтому сначала вычисляют \$Z'\_g\$ заданной точки по координатам \$X'\_g = X\_g - 40458.97\$ м, \$U'\_g = U\_g - 18448.09\$ м, а затем \$Z\_g = Z'\_g + 190\$ м.

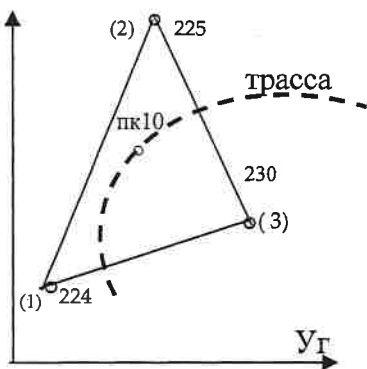
Таблица 2

Номер точки	\$X_g, м\$	\$U_g, м\$	\$Z_g, м\$	Номер точки	\$X_g, м\$	\$U_g, м\$	\$Z_g, м\$
37	40 458.97	18 448.09	205.76	13т	40 504.6	18 435.0	
1	40 464.00	18 403.80	210.00	14т	40 497.2	18 456.7	
332	40 410.00	18 423.50	204.50	15т	40 511.5	18 462.3	
300	40 418.16	18 386.52	209.83	16т	40 516.0	18 453.2	
39	40 444.72	18 377.52	212.54	17т	40 510.4	18 479.2	
333	40 490.40	18 380.30	211.00	18т	40 497.8	18 482.0	
38	40 490.06	18 413.26	208.71	19т	40 485.2	18 489.8	
23	40 517.70	18 402.28	205.60	20т	40 476.0	18 422.8	
24	40 519.50	18 425.28	201.98	21т	40 469.2	18 424.9	
3	40 485.10	18 455.00	202.00	22т	40 481.7	18 435.0	
334	40 523.70	18 478.40	192.56	23т	40 475.6	18 444.7	
26	40 472.14	18 512.46	192.10	24т	40 473.1	18 479.5	
36	40 399.28	18 472.86	197.85	25т	40 473.0	18 461.5	
1т	40 433.8	18 387.0		26т	40 458.8	18 491.5	
2т	40 448.2	18 392.8		27т	40 448.7	18 472.9	
3т	40 456.2	18 381.4		28т	40 429.4	18 475.0	
4т	40 462.8	18 392.6		29т	40 442.6	18 444.8	
5т	40 473.3	18 387.7		30т	40 425.0	18 441.1	
6т	40 479.3	18 400.8		31т	40 418.4	18 443.4	
7т	40 485.7	18 398.8		32т	40 453.8	18 424.0	
8т	40 498.6	18 396.7		33т	40 447.0	18 430.4	
9т	40 502.8	18 400.0		34т	40 435.8	18 422.8	
10т	40 506.4	18 413.4		35т	40 450.3	18 402.9	
11т	40 513.5	18 412.8		36т	40 434.5	18 403.7	
12т	40 493.6	18 433.0		37т	40 424.6	18 405.0	

## Определение высоты точки трассы Н<sub>ПК10</sub>

**Пример**

X<sub>Г</sub>



$$H_1 = A X_1 + B Y_1 + C$$

$$H_2 = A X_2 + B Y_2 + C$$

$$H_3 = A X_3 + B Y_3 + C$$

$$H_{ПК10} = A X_{ПК10} + B Y_{ПК10} + C$$

$$A = \frac{\Delta_A}{\Delta}$$

$$B = \frac{\Delta_B}{\Delta}$$

$$C = \frac{\Delta_C}{\Delta}$$

В расчетах определителей используют X', Y', H'

Номер точки	X (X <sub>Г</sub> )	Y (Y <sub>Г</sub> )	H (Z <sub>Г</sub> )	X'=X-40628.00	Y'=Y-18865.17	H'=H-210.88
1	40 628.00	18 865.17	210.88	0	0	0
2	40 743.09	18 939.91	220.47	115.09	74.74	9.59
3	40 649.68	19 012.20	215.49	21.68	147.03	4.61
ПК 10	40 688.0	18 946.5	?	60.0	81.33	?

$$\Delta = \begin{vmatrix} X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ X_3 & Y_3 & 1 \end{vmatrix} = X_1 Y_2 + Y_1 X_3 + X_2 Y_3 - Y_2 X_3 - X_1 Y_3 - Y_1 X_2 =$$

$$= 0 * 74.74 + 0 * 21.68 + 115.09 * 147.03 - 74.74 * 21.68 - 0 * 147.03 - 0 * 115.09 = 15301.32$$

Контроль вычислений :

$$\Delta = X_1(Y_2 - Y_3) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_1 - Y_2) =$$

$$= 0 * (74.74 - 147.03) + 115.09 * (147.03 - 0) + 21.68 * (0 - 74.74) = 15301.32$$

$$\Delta_A = \begin{vmatrix} H_1 & Y_1 & 1 \\ H_2 & Y_2 & 1 \\ H_3 & Y_3 & 1 \end{vmatrix} = H_1 Y_2 + Y_1 H_3 + H_2 Y_3 - Y_2 H_3 - H_1 Y_3 - Y_1 H_2 =$$

$$= 0 * 74.74 + 0 * 4.61 + 9.59 * 147.03 - 74.74 * 4.61 - 0 * 147.03 - 0 * 9.59 = 1065.4663$$

Контроль вычислений :

$$\Delta_A = H_1(Y_2 - Y_3) + H_2(Y_3 - Y_1) + H_3(Y_1 - Y_2) =$$

$$= 0 * (74.74 - 147.03) + 9.59 * (147.03 - 0) + 4.61 * (0 - 74.74) = 1065.4663$$

$$\Delta_B = \begin{vmatrix} X_1 & H_1 & 1 \\ X_2 & H_2 & 1 \\ X_3 & H_3 & 1 \end{vmatrix} = X_1 H_2 + H_1 X_3 + X_2 H_3 - H_2 X_3 - X_1 H_3 - H_1 X_2 =$$

$$= 0 * 9.59 + 0 * 21.68 + 115.09 * 4.61 - 9.59 * 21.68 - 0 * 4.61 - 0 * 115.09 = 322.6537$$

Контроль вычислений :

$$\Delta_B = X_1(H_2 - H_3) + X_2(H_3 - H_1) + X_3(H_1 - H_2) =$$

$$= 0 * (9.59 - 4.61) + 115.09 * (4.61 - 0) + 21.68 * (0 - 9.59) = 322.6537$$

$$\Delta_C = \begin{vmatrix} X_1 & Y_1 & H_1 \\ X_2 & Y_2 & H_2 \\ X_3 & Y_3 & H_3 \end{vmatrix} = X_1 Y_2 H_3 + Y_1 H_2 X_3 + H_1 X_2 Y_3 - H_1 Y_2 X_3 - X_1 H_2 Y_3 - Y_1 X_2 H_3 =$$

$$= 0 * 74.74 * 4.61 + 0 * 9.59 * 21.68 + 0 * 115.09 * 147.03 - 0 * 74.74 * 21.68 - 0 * 9.59 * 147.03 - 0 * 115.09 * 4.61 = 0$$

Контроль вычислений :

$$\Delta_C = X_1(Y_2 H_3 - H_2 Y_3) + X_2(H_1 Y_3 - Y_1 H_3) + X_3(Y_1 H_2 - H_1 Y_2) =$$

$$= 0 * (74.74 * 4.61 - 9.59 * 147.03) + 115.09 (0 * 147.03 - 0 * 4.61) + 21.68 * (0 * 9.59 - 0 * 74.74) = 0$$

$$A = 1065.4663 : 15301.32 = 0.069632 ; B = 322.6537 : 15301.32 = 0.021087 ; C = 0 : 15301.32 = 0.$$

$$H = 0.069632 * 0 + 0.021087 * 0 + 0 + 210.88 = 210.88 \text{ м}$$

$$H^1 = 0.069632 * 115.09 + 0.021087 * 74.74 + 0 + 210.88 = 220.47 \text{ м}$$

$$H^2 = 0.069632 * 21.68 + 0.021087 * 147.03 + 0 + 210.88 = 215.49 \text{ м}$$

$$H^3 = 0.069632 * 60.0 + 0.021087 * 81.33 + 0 + 210.88 = 216.77 \text{ м}$$

} контроль вычислений

**Ответ : Н<sub>ПК10</sub> = 216.77 м**

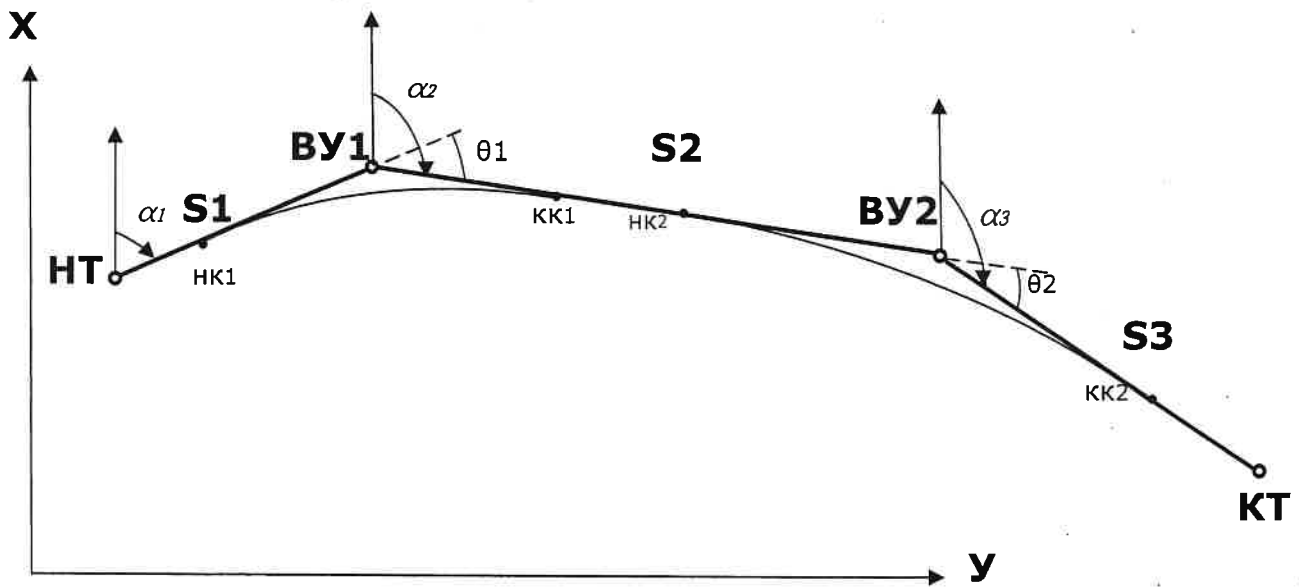
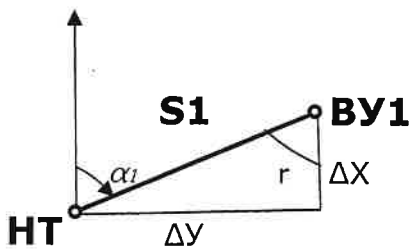


Таблица 1

Формулы преобразования румба  $r$  в дирекционный угол  $\alpha$



$$\Delta Y = Y_{\text{БУ1}} - Y_{\text{HT}}$$

$$\Delta X = X_{\text{БУ1}} - X_{\text{HT}}$$

$$\text{tgr}_{\text{HT-БУ1}} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

Знаки приращений		Название румба	Формулы расчёта дирекционного угла
$\Delta X$	$\Delta Y$		
+	+	СВ	$\alpha = r$
-	+	ЮВ	$\alpha = 180^\circ - r$
-	-	ЮЗ	$\alpha = 180^\circ + r$
+	-	СВ	$\alpha = 360^\circ - r$

$$S_1 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

Таблица 2

Вычисление значений  $S$ ,  $\alpha$ ,  $\theta$

Точки	X, м	Y, м	$\Delta X$	$\Delta Y$	S	r	$\alpha$	$\theta$
HT								
БУ1								
БУ2								
КТ								

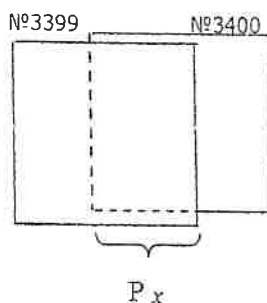
Значение угла поворота трассы вычисляют по разности смежных дирекционных углов линий трассы. Вычисленные значения  $\alpha$  и  $\theta$  проконтролировать на плане масштаба 1 : 5 000 при помощи транспорта.

ВАРИАНТЫ ТОЧЕК ТРАССЫ

Номер варианта	Номер точки	
	НТ	КТ
1	71	344
2	70	383
3	294	400
4	295	347
5	296	344
6	104	332
7	141	348
8	256	346
9	291	372
10	141	400
11	108	408
12	109	409
13	293	367
14	142	371
15	295	333
16	71	401
17	143	370
18	296	330
19	141	410
20	194	377
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		

## КАТАЛОГ ВЫСОТ ТОЧЕК ЦММ

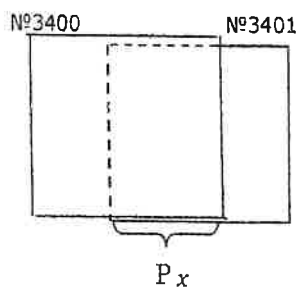
Номер точки	Z <sub>Г,м</sub>	Номер точки	Z <sub>Г,м</sub>	Номер точки	Z <sub>Г,м</sub>	Номер точки	Z <sub>Г,м</sub>	Номер точки	Z <sub>Г,м</sub>	Номер точки	Z <sub>Г,м</sub>
14	212.96	65	219.44	116	204.01	167	178.06	218	214.22	269	209.82
15	212.92	66	225.35	117	206.51	168	177.37	219	227.88	270	207.72
16	210.55	67	226.99	118	204.35	169	176.35	220	230.98	271	206.62
17	211.27	68	226.40	119	223.48	170	176.96	221	230.10	272	214.25
18	202.85	69	228.45	120	221.93	171	178.72	222	217.06	273	215.80
19	196.69	70	227.86	121	218.14	172	178.76	223	214.23	274	213.95
20	200.74	71	227.68	122	214.29	173	197.37	224	210.88	275	211.95
21	192.93	72	229.93	123	209.97	174	195.35	225	220.47	276	215.28
22	195.89	73	229.24	124	200.77	175	217.72	226	226.39	277	219.04
23	205.60	74	219.92	125	198.40	176	217.02	227	214.09	278	220.50
24	201.98	75	203.01	126	209.48	177	197.29	228	209.26	279	219.60
25	202.63	76	201.91	127	210.02	178	214.11	229	204.92	280	217.97
26	192.10	77	210.06	128	209.29	179	192.30	230	215.49	281	221.37
27	187.27	78	210.11	129	211.98	180	212.40	231	225.75	282	221.81
28	191.35	79	205.23	130	227.48	181	198.44	232	209.43	283	222.58
29	196.45	80	192.60	131	221.20	182	212.77	233	201.95	284	221.62
30	214.79	81	204.02	132	213.50	183	205.32	234	216.36	285	224.59
31	217.47	82	212.09	133	201.96	184	202.63	235	206.31	286	225.42
32	212.40	83	220.52	134	190.22	185	191.16	236	199.04	287	224.56
33	207.11	84	221.69	135	194.57	186	182.19	237	204.49	288	223.44
34	211.05	85	217.00	136	195.43	187	203.27	238	199.47	289	222.11
35	209.54	86	211.10	137	207.60	188	179.13	239	198.56	290	222.21
36	197.85	87	193.02	138	212.77	189	195.02	240	222.19	291	223.39
37	205.76	88	186.05	139	203.97	190	204.19	241	220.78	292	207.26
38	208.71	89	188.42	140	189.09	191	194.78	242	217.53	293	215.66
39	212.54	90	190.02	141	217.09	192	183.93	243	212.59	294	218.46
40	213.11	91	194.75	142	201.71	193	230.21	244	214.30	295	200.43
41	210.36	92	232.54	143	213.38	194	233.71	245	214.62	296	200.69
42	197.45	93	233.08	144	208.42	195	234.38	246	212.87	297	213.29
43	206.77	94	226.66	145	198.03	196	234.65	247	211.98	298	214.99
44	225.23	95	211.26	146	190.97	197	233.59	248	212.16	299	215.87
45	225.26	96	203.56	147	195.58	198	233.21	249	207.99	300	209.83
46	225.12	97	196.22	148	196.60	199	233.32	250	209.00	301	217.71
47	211.99	98	187.04	149	198.99	200	229.23	251	212.29	302	216.44
48	212.79	99	189.55	150	197.56	201	223.23	252	211.84	303	218.28
49	224.74	100	191.49	151	192.45	202	223.31	253	207.90	304	210.98
50	225.50	101	195.24	152	186.39	203	222.24	254	203.56	305	221.60
51	207.41	102	193.23	153	184.95	204	230.80	255	203.85	306	225.05
52	208.69	103	196.24	154	183.66	205	231.75	256	223.60	307	226.03
53	208.00	104	198.20	155	183.27	206	231.71	257	224.35	308	224.02
54	202.57	105	211.09	156	181.80	207	223.67	258	225.54	309	218.91
55	215.92	106	213.42	157	180.86	208	222.36	259	224.68	310	223.32
56	209.36	107	207.66	158	179.48	209	230.73	260	223.94	311	220.93
57	193.68	108	211.83	159	178.98	210	231.95	261	219.21	312	217.92
58	192.46	109	212.63	160	178.78	211	231.56	262	215.87	313	206.81
59	192.40	110	223.37	161	179.04	212	220.59	263	211.60	314	212.22
60	195.35	111	224.14	162	178.56	213	218.68	264	208.72	315	218.09
61	201.92	112	226.42	163	177.78	214	228.60	265	211.43	316	221.69
62	211.68	113	218.53	164	178.57	215	231.85	266	209.88	317	198.65
63	219.42	114	229.49	165	177.56	216	229.66	267	205.38		
64	223.10	115	205.85	166	178.06	217	217.49	268	205.56		



Точки № 14 - № 317 расположены в продольном перекрытии  $P_x$  аэрофотоснимков № 3399 , № 3400 .

## КАТАЛОГ ВЫСОТ ТОЧЕК ЦММ

Номер точки	Z <sub>г,м</sub>	Номер точки	Z <sub>г,м</sub>	Номер точки	Z <sub>г,м</sub>
318	227.74	360	204.37	402	178.85
319	225.30	361	181.86	403	179.72
320	226.11	362	180.90	404	181.29
321	227.33	363	198.64	405	182.92
322	228.86	364	207.61	406	202.31
323	224.38	365	216.89	407	202.42
324	224.05	366	216.11	408	201.66
325	225.19	367	215.85	409	199.47
326	222.17	368	212.09	410	195.40
327	219.27	369	212.07	411	192.35
328	223.78	370	210.24	412	192.00
329	221.55	371	210.94	413	189.86
330	217.89	372	210.28	414	178.69
331	222.65	373	205.56	415	178.99
332	219.30	374	207.04	416	178.35
333	217.71	375	207.26	417	182.09
334	222.78	376	206.09	418	180.74
335	220.54	377	205.35	419	179.27
336	219.75	378	198.09	420	182.01
337	222.81	379	199.17	421	181.20
338	224.04	380	197.21	422	185.75
339	222.68	381	198.69	423	193.66
340	221.49	382	199.68	424	198.77
341	218.82	383	200.79	425	176.13
342	217.97	384	197.51	426	177.88
343	215.76	385	197.85	427	206.71
344	217.55	386	195.20	428	199.58
345	215.72	387	198.05	429	208.95
346	213.33	388	195.74	430	202.12
347	215.47	389	198.76	431	193.02
348	218.82	390	192.90	432	179.22
349	223.85	391	198.34	433	175.26
350	222.57	392	196.58	434	175.87
351	222.74	393	192.21	435	175.42
352	220.41	394	188.93	436	175.15
353	218.40	395	187.49	437	176.05
354	215.48	396	205.36	438	175.12
355	211.74	397	194.73	439	175.07
356	208.09	398	185.84	440	175.26
357	201.36	399	184.37	441	215.08
358	199.50	400	179.39	442	211.11
359	206.11	401	178.16		



Точки № 318 - № 442 расположены в продольном перекрытии P<sub>x</sub> аэрофотоснимков № 3400 , № 3401 .

Расчет элементов кривых и дирекционных углов линий трассы

$\Theta_1 = \quad R_1 =$	$\Theta_2 = \quad R_2 =$	$\alpha_1 =$
$T_1 = T_{\text{табл}} \quad N_1 =$	$T_2 = T_{\text{табл}} \quad N_2 =$	$\alpha_2 = \alpha_1 + \Theta_{1\text{ПР}} \text{ или}$
$K_1 = K_{\text{табл}} \quad N_1 =$	$K_2 = K_{\text{табл}} \quad N_2 =$	$- \Theta_{1\text{ЛЕВ}} =$
$B_1 = B_{\text{табл}} \quad N_1 =$	$B_2 = B_{\text{табл}} \quad N_2 =$	$=$
$D_1 = D_{\text{табл}} \quad N_1 =$	$D_2 = D_{\text{табл}} \quad N_2 =$	$\alpha_3 = \alpha_2 + \Theta_{2\text{ПР}} \text{ или}$
$D_1 = 2T_1 - K_1 =$	$D_2 = 2T_2 - K_2 =$	$- \Theta_{2\text{ЛЕВ}} =$
$N_1 = R_1 / R_{\text{табл}} =$	$N_2 = R_2 / R_{\text{табл}} =$	$=$
или: $T = R \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2}$ ; $K = \frac{R \pi \Theta^\circ}{180^\circ}$ ; $B = \frac{R}{\cos \Theta/2} - R$ ; $\pi = 3,141593$		
$S_1 =$	$S_2 =$	$S_3 =$
пк ВУ 1 = ПК 0 + $S_1 =$		пк ВУ 2 = $S_1 + S_2 - D_1 =$

Расчет пикетажа главных точек кривых с контролем

<p>ВУ 1 ПК +</p> <p>- <math>T_1</math> ПК +</p> <hr/> <p>НК 1 ПК +</p> <p>+ <math>K_1</math> ПК +</p> <hr/> <p>К К 1 ПК +</p> <p>-0,5 <math>K_1</math> ПК +</p> <hr/> <p>СК 1 ПК +</p> <p>+0,5 <math>D_1</math> ПК +</p> <hr/> <p>ВУ 1 ПК +</p>	<p>ВУ 2 ПК +</p> <p>- <math>T_2</math> ПК +</p> <hr/> <p>НК 2 ПК +</p> <p>+ <math>K_2</math> ПК +</p> <hr/> <p>К К 2 ПК +</p> <p>-0,5 <math>K_2</math> ПК +</p> <hr/> <p>СК 2 ПК +</p> <p>+0,5 <math>D_2</math> ПК +</p> <hr/> <p>ВУ 2 ПК +</p>
---	---

Ведомость углов поворота ,кривых и прямых

УГЛЫ			КРИВЫЕ							ПРЯМЫЕ		
№	Положение вершины угла ПК +	Углы поворота		Элементы кривых				Пикетаж		Прямые вставки P	Расстоян между вершинами. S	Дирекц. углы $\alpha$
		право $\Theta_{\text{ПР}}$	лево $\Theta_{\text{ЛЕВ}}$	R	T	K	D	начало кривой ПК +	конец кривой ПК +			
НТ	ПК 0 + 00,00	-	-	-	-	-	-	-	-			
ВУ1												
ВУ2												
КТ		-	-	-	-	-	-	-	-			

Угловой контроль :

$\sum \Theta_{\text{ПР}} - \sum \Theta_{\text{ЛЕВ}} = \alpha_3 - \alpha_1 =$

$\sum T =$

$\sum K =$

$\sum D =$

$\sum P =$

$\sum S =$

Линейный контроль:

$\sum S - \sum D = \sum P + \sum K =$

$2 \sum T - \sum K = \sum D =$



