

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н.Прянишникова»

А.В. Ананина, Т.Е. Плотникова

РЕШЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Лабораторный практикум

Пермь
ИПЦ «Прокрость»
2023

УДК 528.2/.5

ББК 26.11с5+26.110

Рецензенты:

О.Г. Брыжко, кандидат экономических наук, доцент кафедры геодезии и картографии (ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ);

А.Б. Агеева, кандидат экономических наук, доцент кафедры землеустройства (ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ).

Ананина, А.В., Плотникова, Т.Е.

Решение геодезических задач: лабораторный практикум / А.В. Ананина, Т.Е.Плотникова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н.Прянишникова». – Пермь: Прокрость, 2023. – 118 с.: ил.

В лабораторном практикуме представлены варианты заданий для выполнения лабораторных работ, изложена последовательность действий при выполнении лабораторных работ по разделам дисциплины «Решение геодезических задач».

Лабораторный практикум предназначен для обучающихся направления подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры.

УДК 528.2/.5

ББК 26.11с5+26.110

Лабораторный практикум рекомендован к изданию методической комиссией факультета землеустройства, кадастра и строительных технологий ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, протокол № 8 от 17 февраля 2023 г.

ISBN

© ИПЦ «Прокрость», 2023

© Ананина А.В., 2023

© Плотникова Т.Е., 2023

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа №1 Определение недоступного расстояния.....	5
Лабораторная работа №2 Определение координат пункта прямой угловой засечкой.....	6
Лабораторная работа №3 Определение координат пункта линейной засечкой.....	17
Лабораторная работа №4 Определение координат пункта обратной угловой засечкой.....	23
Лабораторная работа №5 Определение координат точек разомкнутого теодолитного хода с координатной привязкой.....	42
Лабораторная работа №6 Подготовка данных для выноса проектных точек на местность.....	61
Лабораторная работа №7 Построение топографического плана участка местности по данным нивелирования поверхности и составление проекта вертикальной планировки.....	71
Заключение	117
Справочно-библиографический аппарат.....	118

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия является одной из отраслей, выступающей в роли государство образующего фактора, имеющего политическое, экономическое, военное, демографическое, этнографическое и историческое значение. Геодезические материалы и данные являются одной из важнейших и необходимых геопространственных основ при принятии решений в государственном управлении, развитии инфраструктуры страны, в обеспечении обороны и безопасности государства, в сфере навигационных услуг и других сферах человеческой деятельности, где необходима достоверная информация о местности.

Целью лабораторного практикума является формирование у обучающихся навыков решения различных геодезических задач, Лабораторный практикум содержит сведения об определении координат пунктов различными видами засечек, решение теодолитных ходов, определение неприступного расстояния, а также инженерно-геодезические задачи, решаемые на топографических картах и планах, при проектировании трассы линейных сооружений, геодезической подготовке к перенесению на местность элементов проекта здания, выносе и закреплении на строительной площадке проектных отметок, линий и плоскостей.

Настоящий лабораторный практикум составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины, изучаемой обучающимися по направлению подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры. Предназначен для выполнения лабораторных работ обучающимися очной и заочной форм обучения.

Лабораторная работа №1 Определение недоступного расстояния

Определить длину реки (недоступного расстояния) по результатам измерения (рисунок 1а):

$$l_1 = 124.29 \text{ м}; \beta_1 = 64^\circ 24'; \alpha_1 = 81^\circ 40';$$

$$l_2 = 123.56 \text{ м}; \beta_2 = 72^\circ 15'; \alpha_2 = 72^\circ 06';$$

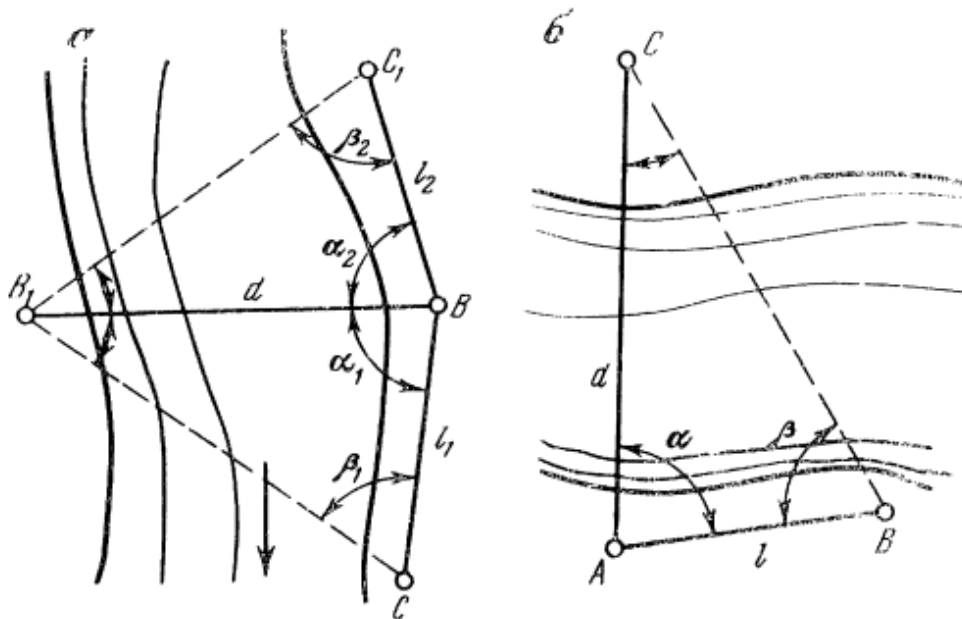


Рисунок 1 – Схема определения недоступных расстояний

Решение:

Из треугольников $СВВ_1$ и $С_1ВВ_1$ с общей стороной d : $d = l_1 * \frac{\sin\beta_1}{\sin(\alpha_1+\beta_1)}$; $d = l_2 * \frac{\sin\beta_2}{\sin(\alpha_2+\beta_2)}$;

$$d = 124,92 * \frac{\sin 64^\circ 24'}{\sin(64^\circ 24' + 81^\circ 40')} = 124,92 * 1,615497 = 201,81 \text{ м};$$

$$d = 123,56 * \frac{\sin 72^\circ 15'}{\sin(72^\circ 15' + 72^\circ 06')} = 123,56 * 1,63408 = 201,90 \text{ м}.$$

Определяют относительную погрешность измерения

$$\frac{l_1 - l_2}{l_1} = \frac{201.81 - 201.90}{201.81} = \frac{0.09}{201.81} = \frac{1}{201.81/0.09} = \frac{1}{2242}; \frac{1}{2242} < \frac{1}{2000}, \text{ что}$$

допустимо.

$$\text{Находят среднее значение линии } BB_1: BB_1 = \frac{201,81+201,90}{2} = 201,86 \text{ м.}$$

Задание: Вычислить неприступное расстояние d по данным таблицы 1 рисунок 1б.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	l, м	α°	β°	Вариант	l, м	α°	β°	Вариант	l, м	α°	β°
1	72,33	90°	51°	6	120,14	92°	61°	11	111,12	93°	56°
2	64,51	86°	54°	7	101,07	94°	57°	12	67,15	83°	54°
3	58,92	81°	52°	8	131,29	90°	55°	13	103,25	95°	53°
4	91,00	88°	50°	9	140,44	88°	54°	14	78,74	89°	52°
5	86,15	91°	57°	10	95,86	89°	56°	15	131,22	96°	51°

Лабораторная работа №2 Определение координат пункта прямой угловой засечкой

Определяемыми пунктами могут быть возвышающиеся над территорией предметы: трубы, антенны, громоотводы либо вновь закладываемые пункты на местности.

Для определения положения искомого пункта используются различные исходные данные. Это зависит от наличия видимости между исходными пунктами.

Если видимость есть, то координаты пункта (Р) определяются по координатам двух исходных пунктов А, В и двум измеренным углам при исходных пунктах β_1 и β_2 (рисунок 2а). Для решения такого варианта используются формулы Юнга.

Если видимость отсутствует, то координаты пункта (Р) определяются по координатам двух исходных пунктов Т1 и Т2, двум исходным дирекционным углам α_{M-T1} и α_{O-T2} и двум измеренным углам β_1 и β_2 при исходных пунктах

(рисунок 2б). В этом случае для определения координат искомого пункта используют формулы Гаусса.

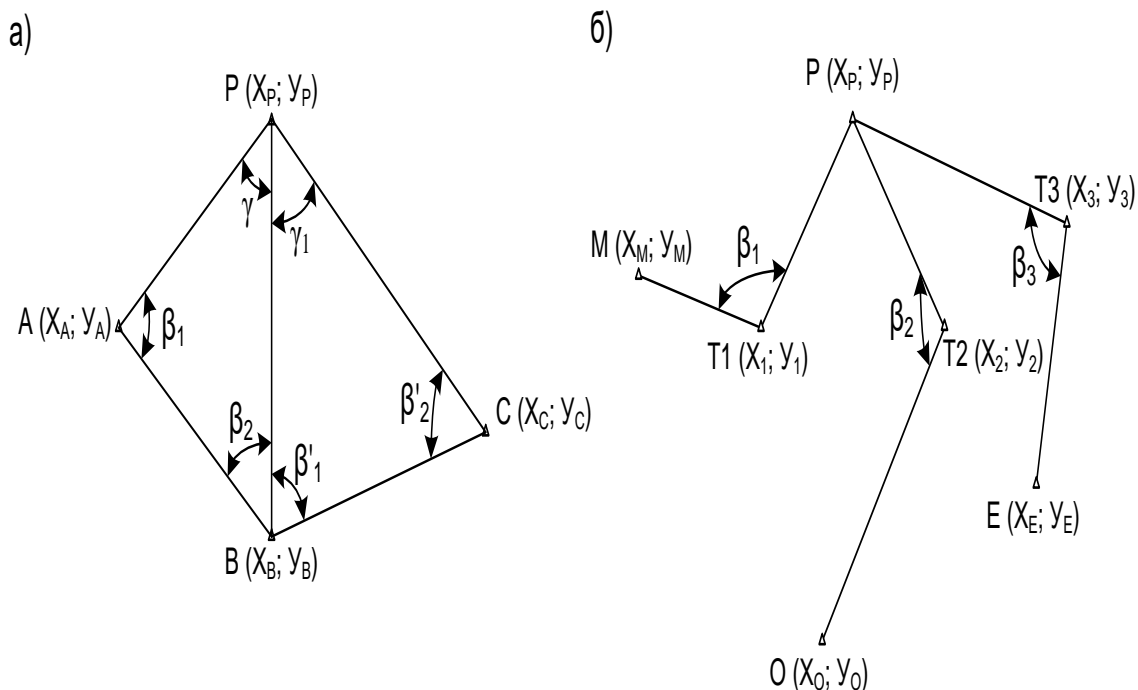


Рисунок 2 – Схемы прямой угловой засечки

Определение плановых координат пункта по формулам Юнга

При определении необходимо соблюдать определенный порядок нумерации исходных пунктов. Если встать в середине линии между исходными пунктами, лицом к определяемому пункту P, то исходный пункт, находящийся слева будет первым, а справа - вторым.

При выполнении этой работы должно выполняться следующее условие:

- углы между исходным направлением и направлением от исходных пунктов на определяемый пункт должны быть не менее 30° .

Координаты искомого пункта P вычисляются по формулам:

$$X_P' = \frac{X_A \operatorname{ctg} \beta_2 - Y_A + X_B \operatorname{ctg} \beta_1 + Y_B}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} = \frac{K}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2},$$

$$Y_P' = \frac{Y_A \operatorname{ctg} \beta_2 + X_A + Y_B \operatorname{ctg} \beta_1 - X_B}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} = \frac{\theta}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2},$$

где X_A, Y_A, X_B, Y_B – координаты соответственно пунктов А и В;

β_1 – измеренный угол между исходным направлением АВ и определяемым АР;

β_2 – измеренный угол между исходным направлением АВ и определяемым ВР;

Для контроля правильности определения координат пункта Р вводят третий пункт С и измеряют углы β'_1, β'_2

Во втором решении используют формулы:

$$X_P'' = \frac{X_B \operatorname{ctg} \beta_2' - Y_B + X_C \operatorname{ctg} \beta_1' + Y_C}{\operatorname{ctg} \beta_1' + \operatorname{ctg} \beta_2'} = \frac{K}{\operatorname{ctg} \beta_1' + \operatorname{ctg} \beta_2'},$$

$$Y_P'' = \frac{Y_B \operatorname{ctg} \beta_2' + X_B + Y_C \operatorname{ctg} \beta_1' - X_C}{\operatorname{ctg} \beta_1' + \operatorname{ctg} \beta_2'} = \frac{\theta}{\operatorname{ctg} \beta_1' + \operatorname{ctg} \beta_2'},$$

где X_B, Y_B, X_C, Y_C – координаты соответственно пунктов В и С;

β_1' – измеренный угол между исходным направлением ВС и определяемым направлением ВР;

β_2' – измеренный угол между исходным направлением ВС и определяемым направлением СР.

Пример вычисления для первого варианта приведен ниже.

1 решение

Таблица 2 – Определение координат пункта прямой угловой засечкой по формулам Юнга

X_A	998,494	β_1	49° 02' 36"
Y_A	646,537	$\operatorname{ctg} \beta_1$	0,867959
X_B	932,319	β_2	73° 47' 19"
Y_B	973,055	$\operatorname{ctg} \beta_2$	0,290742
$X_A \operatorname{ctg} \beta_2$	290,304	$\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2$	1,158701
$X_B \operatorname{ctg} \beta_1$	809,215	K	1426,037

$Y_A \operatorname{ctg} \beta_2$	187,976	X'_P	1230,720
$Y_B \operatorname{ctg} \beta_1$	844,572	θ	1098,723
		Y'_P	948,237

2 решение

Таблица 3 – Определение координат пункта прямой угловой засечкой по формулам Юнга

X_B	932,319	β'_1	$59^\circ 27' 32''$
Y_B	973,055	$\operatorname{ctg} \beta'_1$	0,590012
X_C	1130,844	β'_2	$53^\circ 24' 36''$
Y_C	1253,511	$\operatorname{ctg} \beta'_2$	0,742395
$X_B \operatorname{ctg} \beta'_2$	692,149	$\operatorname{ctg} \beta'_1 + \operatorname{ctg} \beta'_2$	1,332407
$X_C \operatorname{ctg} \beta'_1$	667,212	K	1639,817
$Y_B \operatorname{ctg} \beta'_2$	722,391	X''_P	1230,718
$Y_C \operatorname{ctg} \beta'_1$	739,586	θ	1263,452
		Y''_P	948,248

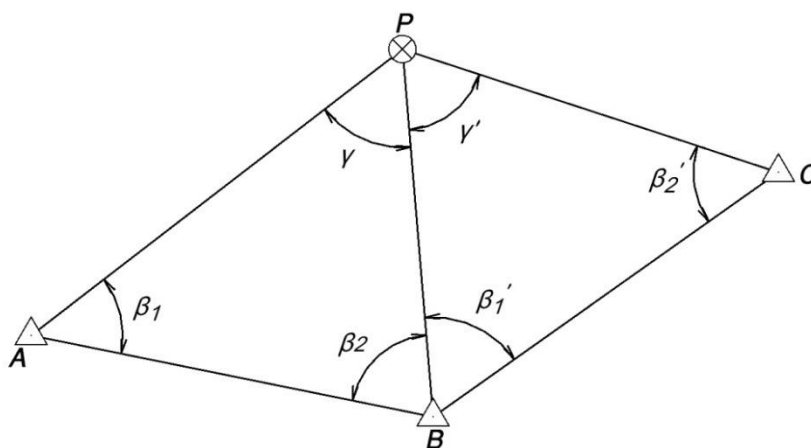


Рисунок 3 – Ориентированная схема прямой угловой засечки

Оценка точности положения определяемого пункта Р прямой угловой засечкой

Расхождение, полученное между первым и вторым решением, должно удовлетворять неравенству:

$$r = \sqrt{(X'_P - X''_P)^2 + (Y'_P - Y''_P)^2} \leq 3M_r$$
$$r = \sqrt{(1230,720 - 1230,718)^2 + (948,237 - 948,248)^2} = \pm 0,011 \text{ м}$$

где X'_P, Y'_P, X''_P, Y''_P – координаты пункта Р, соответственно полученные из первого и второго решений.

$$M_r = \sqrt{M_1^2 + M_2^2},$$
$$M_r = \sqrt{0,028^2 + 0,023^2} = \pm 0,033 \text{ м},$$

где M_1, M_2 – средние квадратические погрешности положения пункта Р, определенные из первого и второго решений.

Их расчет производится по формулам:

$$M_1 = \pm \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2},$$
$$M_1 = \pm \frac{10''}{206265'' \sin 57^\circ 10' 05''} \sqrt{380,728^2 + 299,430^2} = \pm 0,028 \text{ м},$$
$$M_2 = \pm \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma_1} \sqrt{S_2^2 + S_3^2},$$
$$M_2 = \pm \frac{10''}{206265'' \sin 67^\circ 02' 52''} \sqrt{321,192^2 + 299,430^2} = \pm 0,023 \text{ м},$$

где m_β – средняя квадратическая погрешность измерения угла, ее величина принимается в зависимости от прибора, используемого для измерения углов, сек.; $m_\beta = 10''$ для рассматриваемого примера;

$$\rho = 206265'';$$

γ, γ_1 – значения углов при вершине угла Р соответственно в первом и втором решениях;

$$\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2);$$
$$\gamma = 180^\circ - (49^\circ 02' 36'' + 73^\circ 47' 19'') = 57^\circ 10' 05'',$$

$$\gamma_1 = 180^\circ - (\beta_1' + \beta_2'),$$

$$\gamma_1 = 180^\circ - (59^\circ 27' 32'' + 53^\circ 24' 36'') = 67^\circ 07' 52'';$$

S_1, S_2, S_3 – расстояния от исходных пунктов, соответственно от А, В, С до определяемого Р, их значения вычисляются по приращениям координат между пунктами, м.

$$S_1 = \sqrt{\Delta X_{AP}^2 + \Delta Y_{AP}^2};$$

$$S_1 = \sqrt{(1230,719 - 998,494)^2 + (948,241 - 646,557)^2} = 380,728 \text{ м.}$$

Для вычислений использованы средние значения координат из двух решений.

$$S_2 = \sqrt{\Delta X_{BP}^2 + \Delta Y_{BP}^2};$$

$$S_2 = \sqrt{(1230,719 - 932,319)^2 + (948,241 - 973,055)^2} = 299,430 \text{ м,}$$

$$S_3 = \sqrt{\Delta X_{CP}^2 + \Delta Y_{CP}^2}.$$

$$S_3 = \sqrt{(1230,719 - 1130,844)^2 + (948,241 - 1253,511)^2} = 321,191 \text{ м.}$$

$r \leq 3M_r$, $0,011 \text{ м} < 3 \times 0,033 \text{ м}$, следовательно, определение координат пункта Р выполнено верно.

$$X_P = 1230,719 \quad Y_P = 948,242$$

Определение плановых координат по формулам Гаусса

При отсутствии видимости между исходными пунктами (рисунок 2б) координаты пункта Р вычисляют по формулам Гаусса.

Для контроля правильности нахождения координат пункта Р используется дополнительный твердый пункт ТЗ и измеряется β_3 от исходного направления α_{E-T3} . Измеренные углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ должны быть не менее 30° и не более 150° .

1 решение

$$X_P - X_1 = \frac{(Y_2 - Y_1) - (X_2 - X_1) \times \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{A}{K};$$

$$X_P - X_2 = \frac{(Y_2 - Y_1) - (X_2 - X_1) \times \operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{B}{K};$$

$$Y_P - Y_1 = (X_P - X_1) \times \operatorname{tg} \alpha_1;$$

$$Y_P - Y_2 = (X_P - X_2) \times \operatorname{tg} \alpha_2;$$

$$X_P = X_1 + (X_P - X_1);$$

$$X_P = X_2 + (X_P - X_2);$$

$$Y_P = Y_1 + (Y_P - Y_1);$$

$$Y_P = Y_2 + (Y_P - Y_2).$$

2 решение

$$X_P - X_2 = \frac{(Y_3 - Y_2) - (X_3 - X_2) \times \operatorname{tg} \alpha_3}{\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_3} = \frac{A}{K};$$

$$X_P - X_3 = \frac{(Y_3 - Y_2) - (X_3 - X_2) \times \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_3} = \frac{B}{K};$$

$$Y_P - Y_2 = (X_P - X_2) \times \operatorname{tg} \alpha_2;$$

$$Y_P - Y_3 = (X_P - X_3) \times \operatorname{tg} \alpha_3;$$

$$X_P = X_2 + (X_P - X_2);$$

$$X_P = X_3 + (X_P - X_3);$$

$$Y_P = Y_2 + (Y_P - Y_2);$$

$$Y_P = Y_3 + (Y_P - Y_3);$$

где $X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3$ – координаты твердых пунктов соответственно Т1, Т2, Т3.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – дирекционные направлений соответственно Т1Р, Т2Р, Т3Р, которые вычисляются формулам:

$$\alpha_1 = \alpha_{M-T1} + \beta_1 \pm 180^0;$$

$$\alpha_2 = \alpha_{O-T2} + \beta_2 \pm 180^0;$$

$$\alpha_3 = \alpha_{F-T3} + \beta_3 \pm 180^0,$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – измеренные левые углы соответственно на пунктах Т1, Т2, Т3.

Оценка точности выполняется по формулам, приведенным выше. Следует обратить внимание на то, что углы γ и γ_1 (рисунок 2б) при определяемом пункте Р неизвестны, их необходимо вычислить:

$$\gamma = (\alpha_1 \pm 180^0) - (\alpha_2 \pm 180^0),$$

$$\gamma_1 = (\alpha_2 \pm 180^0) - (\alpha_3 \pm 180^0),$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – дирекционные углы направлений соответственно Т1Р, Т2Р, Т3Р.

Пример расчета по формулам Гаусса дан в таблицах 4, 5.

Решение 1

Таблица 4 – Определение координат пункта Р прямой угловой засечкой (при отсутствии видимости между исходными пунктами) по формулам Гаусса

Y_2	2500,000	$\alpha_1(T_1P)$	143°07'51"	$Y_2 - Y_1$	800,000	$Y_2 - Y_1$	800,000
Y_1	1700,000	$\alpha_2(T_2P)$	258°41'26"	$(X_2 - X_1) \times \operatorname{tg}\alpha_2$	-1500,078	$(X_2 - X_1) \times \operatorname{tg}\alpha_1$	224,994
$Y_2 - Y_1$	800,00	$\operatorname{tg}\alpha_1$	-0,749980	A	2300,078	B	575,006
X_2	1900,000	$\operatorname{tg}\alpha_2$	5,000259	$X_P - X_1$	-399,999	$X_P - X_2$	-99,997
X_1	2200,000			X_1	2200,000	X_2	1900,000
$X_2 - X_1$	-300,000	$K = \operatorname{tg}\alpha_1 - \operatorname{tg}\alpha_2$	-5,750239	X_P	1800,001	X_P	1800,003
				$(X_P - X_1) \times \operatorname{tg}\alpha_1$	299,991	$(X_P - X_2) \times \operatorname{tg}\alpha_2$	-500,012
				Y_1	1700,000	Y_2	2500,000
				Y_P	1999,991	Y_P	1999,988

Решение 2

Таблица 5 – Определение координат пункта Р прямой угловой засечкой (при отсутствии видимости между исходными пунктами) по формулам Гаусса

Y_3	1700,000	$\alpha_2(T_2P)$	258°41'26"	$Y_3 - Y_2$	-800,000	$Y_3 - Y_2$	-800,000
Y_2	2500,000	$\alpha_3(T_3P)$	30°57'46"	$(X_3 - X_2) \times \operatorname{tg}\alpha_3$	-359,987	$(X_3 - X_2) \times \operatorname{tg}\alpha_2$	-3000,156
$Y_3 - Y_2$	-800,000	$\operatorname{tg}\alpha_2$	5,000259	A	-440,013	B	2200,156
X_3	1300,000	$\operatorname{tg}\alpha_3$	0,599978	$X_P - X_2$	-99,997	$X_P - X_3$	500,003
X_2	1900,000			X_2	1900,000	X_3	1300,000
$X_3 - X_2$	-600,000	$K = \operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_3$	4,400281	X_P	1800,003	X_P	1800,003
				$(X_P - X_2) \times \operatorname{tg}\alpha_2$	-500,011	$(X_P - X_3) \times \operatorname{tg}\alpha_3$	299,991
				Y_2	2500,000	Y_3	1700,000
				Y_P	1999,990	Y_P	1999,991

Таблица 6 – Исходные данные для определения координат пункта прямой угловой засечкой

№ вари анта	Координаты пунктов						Измеренные углы			
	А		В		С		β_1	β_2	β_1'	β_2'
	X	Y	X	Y	X	Y	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "
1	998,494	646,537	932,319	973,055	1130,844	1253,511	49 02 28	73 47 26	59 27 31	53 24 29
2	926,123	323,963	623,993	481,654	673,931	881,174	54 44 46	58 23 05	52 03 16	49 53 43
3	524,132	683,855	413,061	820,317	470,422	976,754	44 47 16	60 22 25	60 20 56	47 16 24
4	1062,736	625,785	1020,004	770,388	1121,367	888,033	50 54 53	60 44 53	62 02 26	49 07 52
5	1053,317	514,526	859,547	593,256	884,416	830,584	43 51 27	56 01 36	50 06 24	38 01 56
6	768,341	1035,067	831,415	1170,861	970,065	1134,079	62 00 39	50 07 59	49 55 32	64 44 08
7	1541,710	821,319	1386,479	738,940	1194,429	849,950	64 54 39	62 41 08	59 19 52	55 21 22
8	1126,321	853,566	982,942	948,546	1036,512	1130,790	62 17 10	55 02 22	52 06 06	57 56 51
9	845,373	1101,946	785,095	1281,708	962,323	1421,087	64 46 16	58 24 17	51 14 26	58 41 39
10	622,690	775,897	618,104	1032,402	823,537	1119,785	61 14 39	46 12 47	65 48 22	59 30 39
11	505,545	555,818	453,648	692,514	526,695	810,592	56 20 19	64 38 46	62 49 27	59 37 37
12	1011,056	628,455	943,151	794,282	1055,819	909,852	59 54 32	56 25 36	57 01 51	65 08 21
13	309,692	114,944	384,411	281,389	536,116	369,918	59 25 32	67 30 02	76 56 28	55 33 59
14	451,295	230,791	417,212	570,574	662,184	666,433	41 18 02	46 09 28	59 29 16	52 37 02
15	651,433	554,051	523,043	683,393	584,650	896,167	54 46 22	64 32 17	54 31 32	48 38 08
16	864,599	315,644	665,758	400,582	687,471	677,248	58 50 46	64 55 19	43 43 12	52 49 32
17	815,498	428,691	577,576	539,933	616,099	757,863	45 14 32	54 59 49	50 02 14	55 34 01
18	984,319	523,198	829,841	555,112	742,366	731,055	52 27 37	78 48 11	49 18 29	55 06 07

19	562,752	476,471	453,906	631,517	544,860	798,514	43 58 46	62 01 32	54 19 46	45 12 31
20	1340,026	756,196	1133,073	766,152	1017,443	962,371	52 26 12	71 07 51	52 07 52	55 32 51
21	743,795	620,237	623,721	845,311	721,372	997,381	42 14 18	49 50 47	69 22 16	53 10 18
22	1063,341	635,793	898,790	587,033	743,917	816,021	66 44 48	64 30 56	43 03 13	49 17 59
23	1070,926	831,239	1091,248	1050,706	1260,137	1103,264	52 01 12	55 40 07	56 54 37	63 09 29
24	785,827	478,166	652,408	487,692	554,446	711,959	61 28 52	74 49 48	42 51 02	43 57 41
25	825,578	740,171	836,812	930,432	1021,579	1033,405	51 34 59	64 03 12	58 27 14	48 30 18
26	876,413	634,206	849,603	823,169	966,617	923,117	51 25 32	53 08 02	69 17 36	55 25 41
27	585,604	440,517	500,375	641,366	607,926	789,284	42 27 56	47 43 59	73 15 18	45 07 22
28	879,528	503,808	703,808	602,511	688,524	820,321	48 07 28	66 34 42	56 45 21	47 13 24
29	496,250	486,373	363,877	635,678	440,218	871,898	52 40 47	64 17 07	56 14 42	44 44 43
30	758,627	662,506	778,825	859,190	945,067	895,961	53 51 09	50 04 12	58 15 46	59 05 49

Лабораторная работа №3 Определение координат пункта линейной засечкой

Определение плановых координат пунктов линейной засечкой

Сущность линейной засечки состоит в определении координат пункта Р по координатам двух исходных пунктов А и В по двум измеренным расстояниям S_1, S_2 от определяемого пункта до исходных (рис. 4).

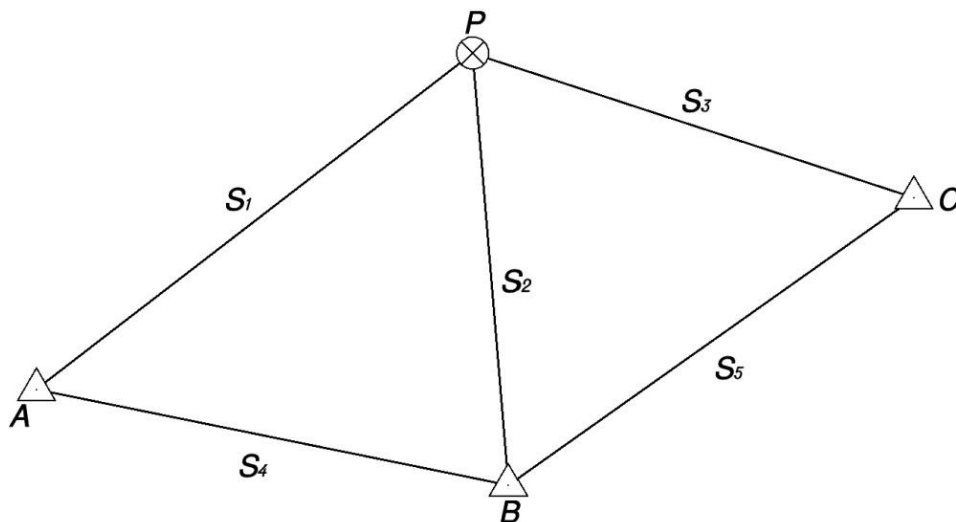


Рисунок 4 – Схема линейной засечки

Для контроля правильности решения используется третий исходный пункт С и измеряется расстояние S_3 от исходного пункта С до определяемого Р.

Решение 1

В треугольнике АВР известны все длины сторон: S_1, S_2 измерены, а длина стороны S_4 вычисляется из решения обратной геодезической задачи.

Для определения углов в треугольнике используется теорема косинусов.

$$\angle PAB = \arccos \frac{S_1^2 + S_4^2 - S_2^2}{2S_1 \times S_4},$$

$$\angle ABP = \arccos \frac{S_2^2 + S_4^2 - S_1^2}{2S_2 \times S_4},$$

$$\angle APB = \arccos \frac{S_1^2 + S_2^2 - S_4^2}{2S_1 \times S_2}.$$

Выполняется проверка правильности вычисления углов, их сумма должна быть равна 180° . При наличии невязки ее устраняют введением поправки на все углы.

Дирекционный угол между исходными пунктами определяется из решения обратной геодезической задачи.

Сначала вычисляется значение румба

$$r_{AB} = \arctg \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \quad r_{BC} = \arctg \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}, \text{ а}$$

затем выполняется переход к дирекционному углу α_{AB} .

Рассчитываются дирекционные углы направлений α_{AP}, α_{BP} .

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \angle PAB, \quad \alpha_{BP} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ + \angle ABP.$$

Определяются дважды координаты пункта P:

$$X_P = X_A + S_1 \times \cos \alpha_{AP},$$

$$Y_P = Y_A + S_1 \times \sin \alpha_{AP},$$

$$X_P = X_B + S_2 \times \cos \alpha_{BP},$$

$$Y_P = Y_B + S_2 \times \sin \alpha_{BP}.$$

Расхождение между двумя полученными значениями координат не должны превышать трех единиц последнего знака. Из первого решения определяются средние значения координат X_P'', Y_P'' .

Решение 2

В треугольнике ВРС известны все длины сторон: S_3, S_2 измерены, а длина стороны S_5 вычисляется из решения обратной геодезической задачи.

Для определения углов в треугольнике используется теорема косинусов.

$$\angle PBC = \arccos \frac{S_2^2 + S_5^2 - S_3^2}{2S_2 \times S_5},$$

$$\angle BCP = \arccos \frac{S_3^2 + S_5^2 - S_2^2}{2S_3 \times S_5},$$

$$\angle BPC = \arccos \frac{S_2^2 + S_3^2 - S_5^2}{2S_2 \times S_3}.$$

Выполняется проверка правильности вычисления углов, их сумма должна быть равна 180° . При наличии невязки ее устраняют введением поправки на все углы.

Дирекционный угол между исходными пунктами определяется из решения обратной геодезической задачи.

Сначала вычисляется значение румба

$$r_{BC} = \arctg \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}, \text{ а}$$

затем выполняется переход к дирекционному углу α_{BC} .

Рассчитываются дирекционные углы направлений α_{CP}, α_{BP} .

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BC} - \angle PBC, \quad \alpha_{CP} = \alpha_{BC} \pm 180^\circ + \angle BCP.$$

Определяются дважды координаты пункта Р:

$$X_P = X_C + S_3 \times \cos \alpha_{CP},$$

$$Y_P = Y_C + S_3 \times \sin \alpha_{CP},$$

$$X_P = X_B + S_2 \times \cos \alpha_{BP},$$

$$Y_P = Y_B + S_2 \times \sin \alpha_{BP}.$$

Расхождение между двумя полученными значениями координат не должны превышать трех единиц последнего знака. Из второго решения определяются средние значения координат X_P'', Y_P'' .

Окончательное значение координат пункта Р определяется как среднее из двух решений.

Оценка точности положения определяемого пункта линейной засечкой

Расхождение в значениях координат, полученных из двух решений, не должно превышать предельной среднеквадратической погрешности положения ($3M_r$).

$$r = \sqrt{(X'_p - X''_p)^2 + (Y'_p - Y''_p)^2} \leq 3M_r,$$

где X'_p, Y'_p, X''_p, Y''_p - координаты пункта Р, вычисленные соответственно из первого и второго решений.

$$M_r = \sqrt{M_1^2 + M_2^2},$$

где M_1, M_2 – средние квадратические погрешности положения пункта, рассчитанные в первом и втором решениях соответственно. Они определяются по формулам:

$$M_1 = \pm \frac{\sqrt{m_{S1}^2 + m_{S2}^2}}{\sin \angle APB};$$

$$M_2 = \pm \frac{\sqrt{m_{S2}^2 + m_{S3}^2}}{\sin \angle BPC},$$

где m_{S1}, m_{S2}, m_{S3} - средние квадратические погрешности измерения соответствующих длин линий. Величина этих погрешностей указана в паспорте прибора (светодальномера), которым производится измерение.

Контроль можно выполнить и следующим способом.

Вычисляется длина S_3 из решения обратной геодезической задачи по определенным координатам пункта Р из первого решения и исходного пункта С.

$$S_{CP} = \sqrt{\Delta X_{PC}^2 + \Delta Y_{PC}^2}; \quad S_{CP} = \frac{\Delta Y_{PC}}{\sin \alpha_{CP}}; \quad S_{CP} = \frac{\Delta X_{PC}}{\cos \alpha_{PC}}.$$

Расхождение не должно превышать

$$|S_{3выч} - S_{3изм}| \leq 2m_{S3}.$$

*Исходные данные для расчетной работы «Определение координат
дополнительного пункта линейной засечкой»*

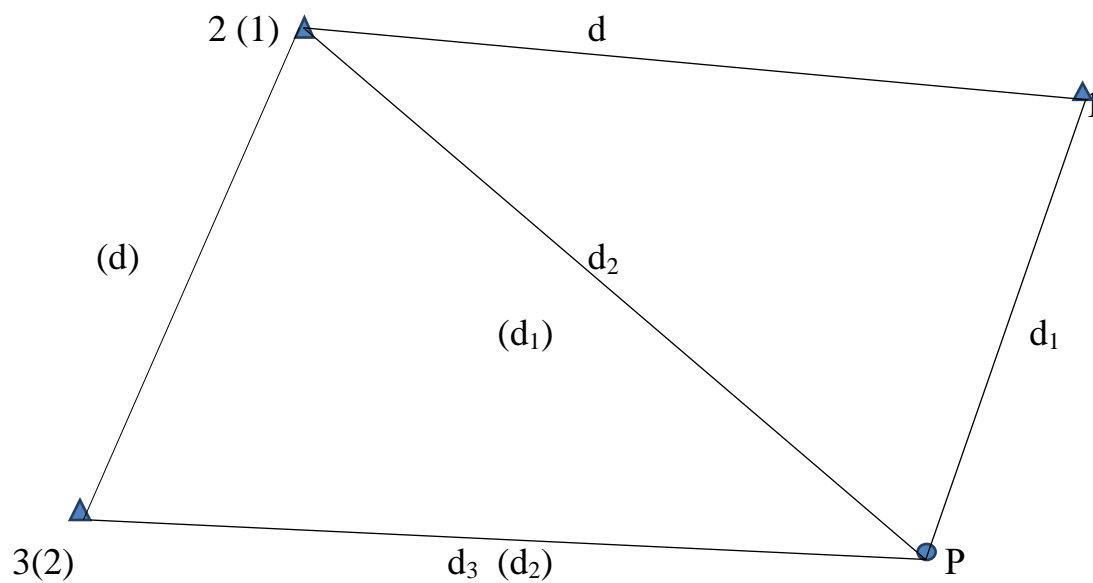


Рисунок 5 – Исходные данные для определения дополнительного пункта P способом линейной засечки

Таблица 7 – Исходные данные для определения координат пункта линейной засечкой

Вариант	Координаты пунктов, м						Длины сторон, м		
	1		2		3		d ₁	d ₂	d ₃
	x	y	x	y	x	y			
1	13657.08	19394.94	13706.82	18610.64	13352.66	18455.28	483.46	796.22	786.60
2	6762.72	11417.30	6750.24	10704.62	6239.68	10620.94	691.12	927.34	738.56
3	8982.95	11659.28	8952.45	10946.16	8478.27	10875.82	665.02	901.60	731.40
4	12989.22	15677.49	12964.34	14940.45	12318.68	14881.55	665.76	906.62	706.28
5	11567.16	13401.45	11602.74	12624.39	10460.86	12564.33	482.78	956.18	1065.96
6	9507.24	13498.94	9620.16	12616.42	9021.46	12583.04	694.98	959.73	651.74
7	4667.87	17455.32	4962.79	16744.30	4389.53	16437.06	537.34	852.44	743.15
8	3036.88	15405.81	3244.64	14439.51	2660.50	14416.11	589.77	1219.33	970.47
9	7689.52	13195.76	7280.18	12460.34	6657.04	12931.64	716.11	1063.18	681.54
10	9589.81	11623.06	9702.31	10738.62	9083.59	10701.48	691.24	967.29	662.96
11	6988.88	15737.73	7240.26	15028.49	6713.44	14723.27	530.18	811.07	742.98
12	5233.32	13709.96	5448.90	12746.72	4897.42	12724.50	558.29	1210.11	978.68
13	7807.57	11016.82	7484.35	10206.68	6975.05	10605.68	537.64	1048.32	723.42
14	4829.10	9365.37	5130.42	8402.85	4489.40	8136.49	572.17	1106.70	1019.20
15	10642.95	13417.28	11292.59	12764.64	10681.37	12339.44	684.93	1159.41	807.20
16	2897.66	15511.87	3123.4000	14609.01	2422.24	14414.59	629.01	1103.81	931.16
17	8747.15	17537.20	9886.33	17210.84	9006.89	16388.36	682.26	1603.54	958.22
18	7884.96	13022.97	7536.54	12216.47	7002.80	12621.65	554.70	1076.72	769.91
19	4841.37	11369.56	5146.35	10404.94	4507.03	10150.66	573.54	1118.16	1017.45
20	8687.20	7439.65	9350.64	6788.41	8725.44	6361.69	689.77	1173.91	804.60
21	12941.09	5509.28	13184.40	4620.84	12444.46	4420.88	637.55	1135.64	946.25
22	2723.14	17518.83	3848.12	17236.21	2980.66	16382.05	671.94	1598.01	965.41
23	11639.11	19409.70	11686.49	18616.16	11136.83	18475.22	486.02	807.09	771.86
24	5255.06	17409.69	5582.24	16506.39	4940.64	16455.51	644.46	1102.45	726.37
25	9229.37	7513.78	9486.55	6608.34	8807.11	6529.84	604.35	1137.08	856.26

Лабораторная работа №4 Определение координат пункта обратной угловой засечкой

В обратной засечке измеряются углы только на определяемой точке, поэтому обратная угловая засечка является наиболее выгодным вариантом из засечек.

Для определения местоположения пункта необходимы координаты 3-х твердых пунктов. Исходные пункты не должны быть расположены вблизи определяемой точки.

Для контроля правильности определения координат вводят 4-й твердый пункт. При данном методе углы между направлениями на определяемой точке нужно измерить на четыре пункта. Все углы измеряют от начального направления (рисунок 6).

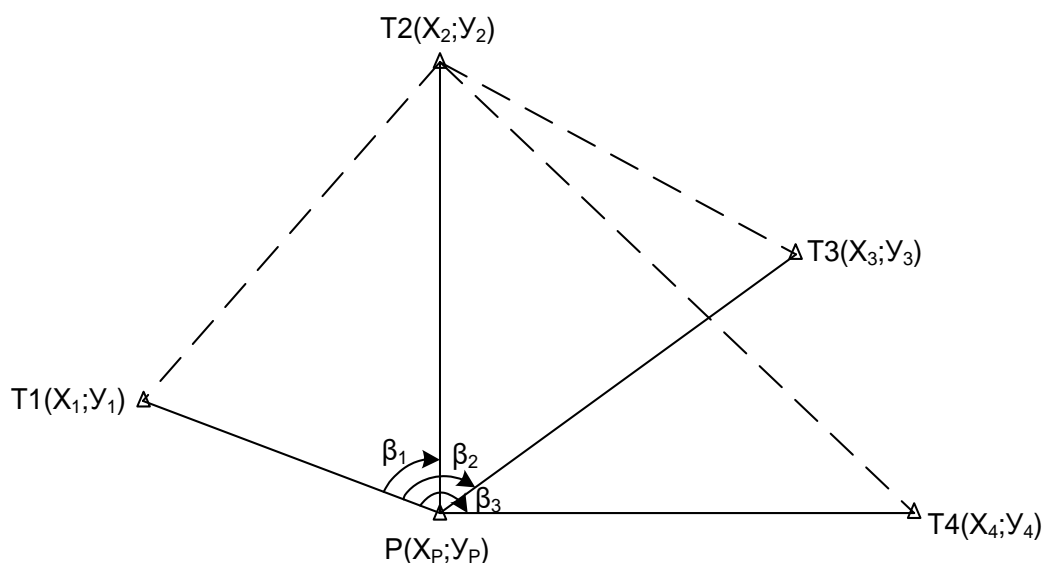


Рисунок 6 – Схема обратной угловой засечки

Ошибка определения пункта обратной засечкой зависит от ее расположения относительно исходных пунктов. Для получения надежных координат необходимо, чтобы месторасположение четырех пунктов относительно определяемого, удовлетворяло определенным условиям.

Желательно, чтобы определяемая точка лежала внутри треугольника, образованного исходными пунктами Т1, Т2, Т3(рис.6) или вне треугольника, но против одной из его вершин (между продолжением его сторон).

При этом угол между смежными направлениями Т2-Т1 и Т2-Т3 должен быть не менее 30° и не более 150° .

Если определяемая точка будет лежать на окружности, проходящей через исходные пункты Т1, Т2, Т3 (при соединении трех точек Т1, Т2, Т3, получается треугольник, вокруг которого и проводится окружность), то решение становится неопределенным.

Если определяемая точка располагается на небольшом расстоянии от окружности, то точность ее определения снижается.

Четвертое, контрольное направление на пункт Т4, особыми угловыми допусками и расположением не обуславливаются, но оно должно, хотя бы с одним из трех основных направлений, образовывать угол засечки в пределах 30° - 150° .

При выполнении полевых работ необходимо соблюдать следующие требования:

- при выборе исходных пунктов для определения координат искомого пункта должны быть исключены случаи, когда задача не имеет решения или точность получаемых результатов низкая; для этого составляется схема расположения выбранных пунктов и выполняется проверка на правильность подбора пунктов;

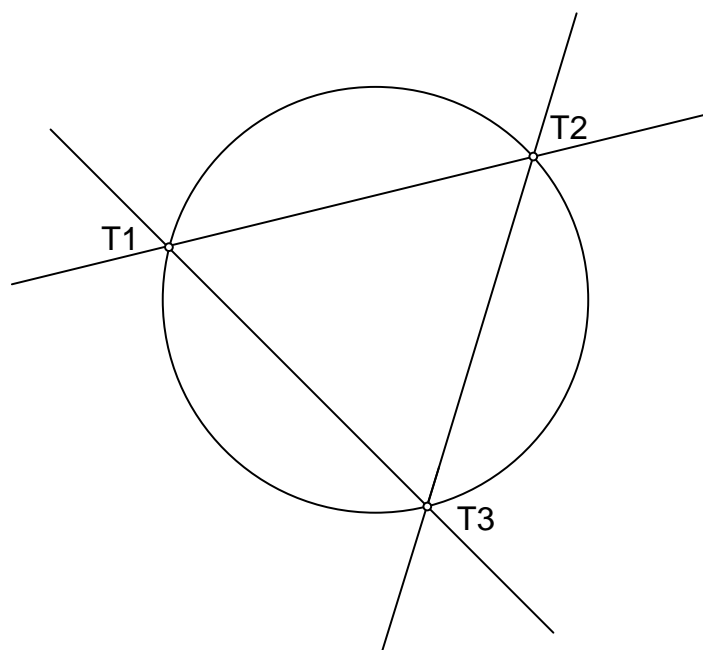


Рисунок 7 – Схема расположения определяемой точки относительно исходных пунктов

Для вычисления координат пункта обратной угловой засечкой можно использовать различные способы: по точке Коллинса, по схеме Колесникова, по формулам: Пранис-Праневича, Кнейсля-Делаμβра. В геодезической практике применяется классический способ по таблицам логарифмов или тригонометрических функций. В данном пособии предлагается решение этой задачи с использованием формул Делаμβра.

Определение плановых координат пункта обратной угловой засечкой по формулам Делаμβра

Порядок решения

Решение задачи выполняется независимо дважды, так как производится контроль правильности определения координат пункта Р.

Первое решение

В первом решении используются координаты пунктов Т1, Т2, Т3 и горизонтальные углы β_1 и β_2 .

1. Вычисляется дирекционный угол начального направления (с твердого пункта Т1 на определяемый Р) по формуле Делаμβра:

$$tg\alpha_{T1-P} = \frac{(Y_2 - Y_1) \times ctg\beta_1 + (Y_1 - Y_3) \times ctg\beta_2 + (X_3 - X_2)}{(X_2 - X_1) \times ctg\beta_1 + (X_1 - X_3) \times ctg\beta_2 - (Y_3 - Y_2)},$$

где $X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3$ - координаты соответственно пунктов Т1, Т2, Т3;

β_1, β_2 - углы, измеренные от начального направления соответственно до второго и третьего направлений.

Значение дирекционного угла определяется по знаку $tg\alpha_{T1-P}$.

2. Выполняется контроль вычислений.

$$(X_3 - X_2) + (X_2 - X_1) + (X_1 - X_3) = 0,$$

$$(Y_3 - Y_2) + (Y_2 - Y_1) + (Y_1 - Y_3) = 0.$$

3. Вычисляются дирекционные углы от пункта Р на твердые Т1, Т2, Т3 ($\alpha_{P-T2}, \alpha_{P-T3}$) по ниже приведенным формулам. Для этого сначала переходят от дирекционного угла α_{T1-P} к его обратному значению.

$$\alpha_{P-T1} = \alpha_{T1-P} \pm 180^0;$$

$$\alpha_{P-T2} = \alpha_{P-T1} + \beta_1;$$

$$\alpha_{P-T3} = \alpha_{P-T1} + \beta_2,$$

где α_{T1-P} - дирекционный угол начального направления;

β_1, β_2 - углы, измеренные от начального направления.

4. Вычисляются дважды координаты пункта Р по формулам Гаусса. По ним определяются координаты искомого пункта прямой угловой засечкой. В этих расчетных формулах используют дирекционные углы направлений с твердых пунктов на искомую точку, поэтому необходимо от ранее вычисленных направлений от искомого пункта на твердые пункты перейти к направлениям от твердых пунктов на определяемый пункт.

$$\alpha_{T1-P} = \alpha_{P-T1} \pm 180^0;$$

$$\alpha_{T2-P} = \alpha_{P-T2} \pm 180^0;$$

$$\alpha_{T3-P} = \alpha_{P-T3} \pm 180^0;$$

$$X_P = X_3 + \frac{(X_1 - X_3) \times \operatorname{tg}\alpha_{T1-P} - (Y_1 - Y_3)}{\operatorname{tg}\alpha_{T1-P} - \operatorname{tg}\alpha_{T3-P}} = X_3 + \frac{A}{K};$$

$$X_P = X_1 + \frac{(X_1 - X_3) \times \operatorname{tg}\alpha_{T3-P} - (Y_1 - Y_3)}{\operatorname{tg}\alpha_{T1-P} - \operatorname{tg}\alpha_{T3-P}} = X_1 + \frac{B}{K}.$$

$$Y_P = Y_3 + (X_P - X_3) \operatorname{tg}\alpha_{T3-P};$$

$$Y_P = Y_1 + (X_P - X_1) \operatorname{tg}\alpha_{T1-P}.$$

5. Для контроля правильности вычислений определяется дирекционный угол второго направления, для этого используются координаты исходного пункта Т2 и вычисленные координаты пункта Р.

$$\operatorname{tg}\alpha_{P-T2} = \frac{(Y_2 - Y_P)}{(X_2 - X_P)}.$$

Расхождение между вычисленными дирекционными углами в обоих решениях не должно превышать 1".

Второе решение

Используются координаты исходных пунктов Т1, Т2, Т4, измеренные углы β_1, β_3

1. Вычисляется дирекционный угол начального направления от твердого пункта на искомый пункт по формуле Делаμβра:

$$\operatorname{tg}\alpha_{T1-P} = \frac{(Y_2 - Y_1) \times \operatorname{ctg}\beta_1 + (Y_1 - Y_4) \times \operatorname{ctg}\beta_3 + (X_4 - X_2)}{(X_2 - X_1) \times \operatorname{ctg}\beta_1 + (X_1 - X_4) \times \operatorname{ctg}\beta_3 - (Y_4 - Y_2)}$$

где $X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_4, Y_4$ – соответственно координаты пунктов Т1, Т2, Т4;

β_1, β_3 – углы, измеренные от начального направления соответственно до второго и четвертого направлений.

Значение дирекционного угла определяется по знаку $\text{tg}\alpha_{T1-P}$.

2. Выполняется контроль вычислений.

$$(X_4 - X_2) + (X_2 - X_1) + (X_1 - X_4) = 0;$$

$$(Y_4 - Y_2) + (Y_2 - Y_1) + (Y_1 - Y_4) = 0$$

3. Вычисляются дирекционные углы 2-го и 4-го направлений от определяемого пункта на твердые пункты по формулам:

$$\alpha_{P-T1} = \alpha_{T1-P} \pm 180^0;$$

$$\alpha_{P-T2} = \alpha_{P-T1} + \beta_1;$$

$$\alpha_{P-T4} = \alpha_{P-T1} + \beta_3,$$

где α_{T1-P} - дирекционный угол начального направления;

β_1, β_3 - углы, измеренные от начального направления P-T1.

4. Определяются дважды координаты пункта P

$$X_P = X_4 + \frac{(X_1 - X_4) \times \text{tg}\alpha_{T1-P} - (Y_1 - Y_4)}{\text{tg}\alpha_{T1-P} - \text{tg}\alpha_{T4-P}} = X_4 + \frac{A}{K};$$

$$X_P = X_1 + \frac{(X_1 - X_4) \times \text{tg}\alpha_{T1-P} - (Y_1 - Y_4)}{\text{tg}\alpha_{T1-P} - \text{tg}\alpha_{T4-P}} = X_1 + \frac{B}{K};$$

$$Y_P = Y_4 + (X_P - X_4)\text{tg}\alpha_{T4-P};$$

$$Y_P = Y_1 + (X_P - X_1)\text{tg}\alpha_{T1-P}.$$

5. Для контроля правильности вычислений снова определяется дирекционный угол второго направления.

$$\operatorname{tg}\alpha_{T2-P} = \frac{(Y_2 - Y_P)}{(X_2 - X_P)}$$

Далее даны варианты исходных данных для определения координат пункта Р обратной угловой засечкой, а также даны схемы засечек к вариантам. Пример расчета для первого варианта приводится ниже в таблицах 8,9.

На рис.8 дана схема засечки для 1 варианта, который дается в качестве примера определения координат пункта Р.

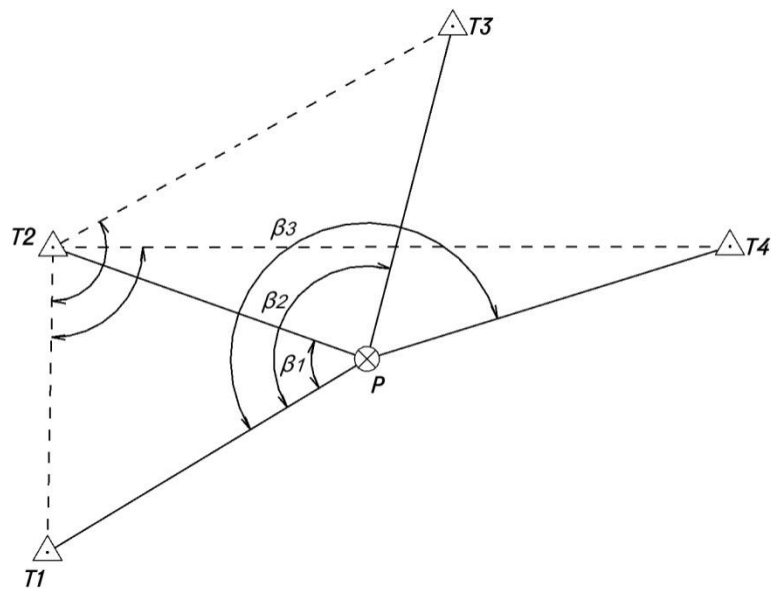


Рисунок 8 – Ориентированная схема засечки (1 вариант)

Таблица 8 – Определение координат пункта Р из решения обратной угловой засечки(с использованием формулы Деламбра)

Решение 1

Исходные данные: координаты пунктов Т1, Т2, Т3;измеренные углы β_1, β_2

Y_1	115,330	X_1	310,610	$(X_1-X_3) \times \text{tg} \alpha_{T1-P}$	-312,199	$(X_1-X_3) \times \text{tg} \alpha_{T3-P}$	-48,604
Y_2	117,310	X_2	420,110	(Y_1-Y_3)	-145,420	(Y_1-Y_3)	-145,420
Y_3	260,750	X_3	499,520				
$Y_2 - Y_1$	1,980	$X_2 - X_1$	109,500	A	-166,779	B	96,816
$Y_3 - Y_2$	143,440	$X_3 - X_2$	79,410	$X_P - X_3$	-119,525	$X_P - X_1$	69,384
$Y_1 - Y_3$	-145,420	$X_1 - X_3$	-188,910	X_3	499,520	X_1	310,610
контроль	0,000		0,000	X_P	379,995	X_P	379,994
β_1	50°46'23"	β_2	135°36'24"	$(X_P-X_3) \times \text{tg} \alpha_{T3-P}$	-30,752	$(X_P-X_3) \times \text{tg} \alpha_{T1-P}$	114,666
$\text{ctg} \beta_1$	0,816363	$\text{ctg} \beta_2$	-1,021404	Y_3	260,750	Y_1	115,330
$(Y_2 - Y_1) \times \text{ctg} \beta_1$	1,616	$(X_2-X_1) \times \text{ctg} \beta_1$	89,392	Y_P	229,998	Y_P	229,996
$(Y_1-Y_3) \times \text{ctg} \beta_2$	148,533	$(X_1-X_3) \times \text{ctg} \beta_2$	192,953	Контроль			
$(X_3 - X_2)$	79,410	(Y_3-Y_2)	143,440	$Y_2 - Y_P$	-112,687	Окончательные значения	
	229,559	$r = 58^\circ 49' 19''$	138,905	$X_2 - X_P$	40,115		
$\text{tg} \alpha_{T1-P}$	1,652633	α_{P-T1}	238°49'19"	$\text{tg} \alpha_{P-T2}$	-2,809099	α_{P-T1}	238°49'19"
$\text{tg} \alpha_{T3-P}$	0,257289	α_{P-T2}	289°35'42"	r_{P-T2}	70°24'18"	α_{P-T2}	289°35'42"
K	1,395344	α_{P-T3}	14°25'43"	α_{P-T2}	289°35'42"	α_{P-T3}	14°25'43"

Таблица 9 – Определение координат пункта Р из решения обратной угловой засечки (с использованием формулы Деламбра)

Решение 2

Исходные данные: координаты пунктов Т1,Т2, Т4; измеренные углы β_1, β_3

Y_1	115,330	X_1	310,610	$(X_1 - X_4) \times \text{tg} \alpha_{T1-P}$	-181,514	$(X_1 - X_4) \times \text{tg} \alpha_{T4-P}$	-353,682
Y_2	117,310	X_2	420,110	$(Y_1 - Y_4)$	-244,920	$(Y_1 - Y_4)$	-244,920
Y_4	360,250	X_4	420,450				
$Y_2 - Y_1$	1,980	$X_2 - X_1$	109,500	A	63,406	B	-108,762
$Y_4 - Y_2$	242,940	$X_4 - X_2$	0,340	$X_P - X_4$	-40,452	$X_P - X_1$	69,388
$Y_1 - Y_4$	-244,920	$X_1 - X_4$	-109,840	X_4	420,450	X_1	310,610
контроль	0,000		0,000	X_P	379,998	X_P	379,998
β_1	50°46'23"	β_3	193°55'36"	$(X_P - X_4) \times \text{tg} \alpha_{T4-P}$	-130,254	$(X_P - X_1) \times \text{tg} \alpha_{T1-P}$	114,666
$\text{ctg} \beta_1$	0,816363	$\text{ctg} \beta_3$	4,032763	Y_4	360,250	Y_1	115,330
$(Y_2 - Y_1) \times \text{ctg} \beta_1$	1,616	$(X_2 - X_1) \times \text{ctg} \beta_1$	89,392	Y_P	229,996	Y_P	229,996
$(Y_1 - Y_4) \times \text{ctg} \beta_3$	-987,704	$(X_1 - X_4) \times \text{ctg} \beta_3$	-442,959	Контроль			
$(X_4 - X_2)$	0,340	$(Y_4 - Y_2)$	242,940	$Y_2 - Y_P$	-112,686	Окончательные значения	
	-985,748	$r = 58^\circ 49' 14''$	-596,507	$X_2 - X_P$	40,112		
$\text{tg} \alpha_{T1-P}$	1,652534	α_{P-T1}	238°49'14"	$\text{tg} \alpha_{P-T2}$	2,809284	α_{P-T1}	238°49'14"
$\text{tg} \alpha_{T4-P}$	3,219975	α_{P-T2}	289°35'37"	r_{P-T2}	70°24'22"	α_{P-T2}	289°35'38"
K	-1,567441	α_{P-T4}	72°44'50"	α_{P-T2}	289°35'38"	α_{P-T4}	72°44'50"

Оценка точности положения определяемого пункта Р обратной угловой засечкой

Расхождение в значениях координат, полученных из двух решений, не должно превышать предельной среднеквадратической погрешности положения ($3M_r$).

$$r = \sqrt{(X'_p - X''_p)^2 + (Y'_p - Y''_p)^2} \leq 3M_r,$$

$$r = \sqrt{(379,994 - 379,998)^2 + (229,997 - 229,996)^2} = 0,004 м$$

где X'_p, Y'_p, X''_p, Y''_p - координаты пункта Р, вычисленные соответственно из первого и второго решений.

$$M_r = \sqrt{M_1^2 + M_2^2},$$

где M_1, M_2 – средние квадратические погрешности положения пункта, определенные соответственно из первого и второго решений. Они рассчитываются по формулам:

$$M_1 = m_\beta S_{P-T2} \frac{\sqrt{\left(\frac{S_{P-T1}}{S_{T1-T2}}\right)^2 + \left(\frac{S_{P-T3}}{S_{T2-T3}}\right)^2}}{\rho |\sin(\angle T1T2T3 + \beta_2)|};$$

$$M_2 = m_\beta S_{P-T2} \frac{\sqrt{\left(\frac{S_{P-T1}}{S_{T1-T2}}\right)^2 + \left(\frac{S_{P-T4}}{S_{T2-T4}}\right)^2}}{\rho |\sin(\angle T1T2T4 + \beta_3)|},$$

где $S_{P-T1}, S_{P-T2}, S_{P-T3}, S_{P-T4}, S_{T1-T2}, S_{T2-T3}, S_{T2-T4}$ – расстояния между соответствующими пунктами;

$\angle T1T2T3, \angle T1T2T4$ – углы при вершине пункта Т2, расположенные соответственно напротив измеренных углов β_2 и β_3 .

Указанные длины сторон и углы рассчитываются, для этого используются координаты исходных пунктов Т1, Т2, Т3, Т4 и вычисленные координаты пункта Р.

Дирекционные углы между исходными пунктами определяются из решения обратной геодезической задачи:

$$\operatorname{tgr}_{T_2T_1} = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{-1,980}{-109,500} = 0,018082;$$

$$r_{T_2-T_1} = 1^\circ 02' 09''; \quad \alpha_{T_2-T_1} = 181^\circ 02' 09'';$$

$$\operatorname{tgr}_{T_2T_3} = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} = \frac{143,440}{79,410} = 1,806322;$$

$$r_{T_2-T_3} = 61^\circ 01' 50''; \quad \alpha_{T_2-T_3} = 61^\circ 01' 50'';$$

$$\operatorname{tgr}_{T_2T_4} = \frac{y_4 - y_2}{x_4 - x_2} = \frac{242,940}{0,340} = 714,729;$$

$$r_{T_2-T_4} = 89^\circ 55' 11''; \quad \alpha_{T_2-T_4} = 89^\circ 55' 11''.$$

$$\angle T_1T_2T_3 = \alpha_{T_2T_1} - \alpha_{T_2T_3} = 181^\circ 02' 09'' - 61^\circ 01' 50'' = 120^\circ 00' 19'';$$

$$\angle T_1T_2T_4 = \alpha_{T_2T_1} - \alpha_{T_2T_4} = 181^\circ 02' 09'' - 89^\circ 55' 11'' = 91^\circ 06' 58''.$$

Длины сторон вычисляются по формулам:

$$S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha}$$

$$S_{T_2-T_1} = \sqrt{\Delta X_{T_1-T_2}^2 + \Delta Y_{T_1-T_2}^2};$$

$$S_{T_2-T_1} = \sqrt{(-109,500)^2 + (-1,980)^2} = 109,518 \text{ м}$$

$$S_{T2-T1} = \frac{\Delta Y_{T1-T2}}{\sin \alpha_{T2-T1}}; S_{T2-T1} = \frac{-109,500}{\sin 181^{\circ}02'09''} = 109,527\text{м}$$

$$S_{T2-T1} = \frac{\Delta X_{T1-T2}}{\cos \alpha_{T2-T1}}$$

$$S_{T2-T1} = \frac{-1,980}{\cos 181^{\circ}02'09''} = 109,518\text{м}$$

Аналогично вычисляются остальные длины.

$$S_{P-T1} = 134,031\text{м} \quad S_{P-T2} = 119,615\text{м} \quad S_{P-T3} = 123,412\text{м}$$

$$S_{P-T4} = 136,386\text{м}$$

$$S_{T2-T3} = 163,954\text{м}$$

$$S_{T2-T4} = 242,94\text{м}$$

Средняя квадратическая погрешность измерения угла $m_{\beta} = 10''$,
 $\rho = 206265''$.

$$M_1 = 10 \times 119,615 \frac{\sqrt{\left(\frac{134,031}{109,518}\right)^2 + \left(\frac{123,412}{163,954}\right)^2}}{206265 |\sin(120^{\circ}00'19'' + 135^{\circ}36'27'')|} = 0,009\text{м}$$

$$M_2 = 10 \times 119,615 \frac{\sqrt{\left(\frac{134,031}{109,518}\right)^2 + \left(\frac{136,386}{242,940}\right)^2}}{206265 |\sin(91^{\circ}06'58'' + 193^{\circ}55'36'')|} = 0,008\text{м}$$

$$M_r = \sqrt{0,009^2 + 0,008^2} = 0,012\text{м}$$

$$r \leq 3M_r \quad 0,004\text{м} < 0,036\text{м},$$

следовательно координаты пункта Р определены верно.

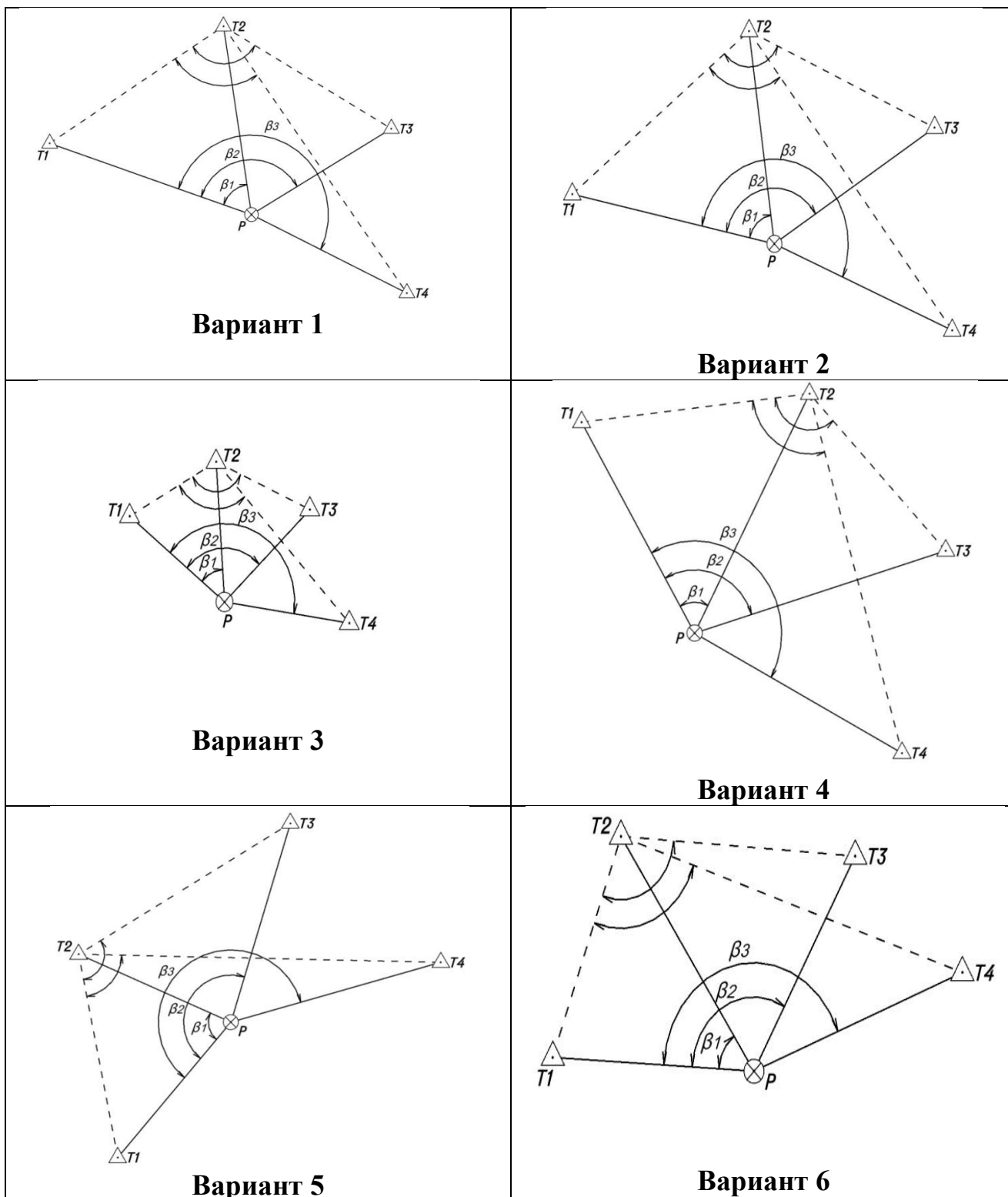
$$X_P = 379,998\text{м}, \quad Y_P = 229,996\text{м}$$

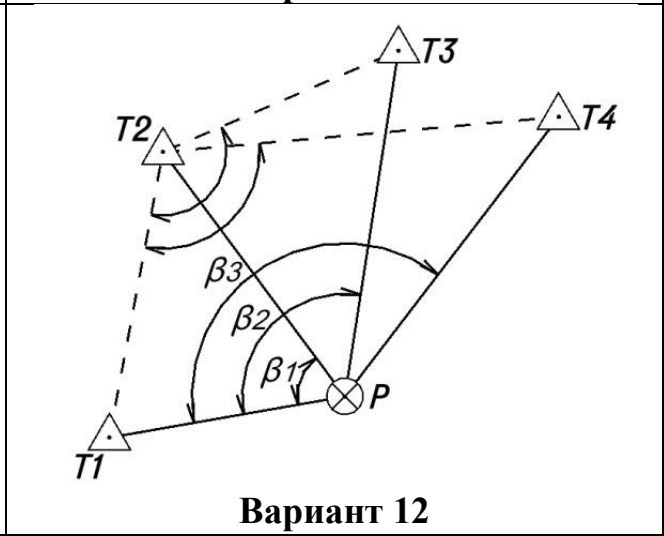
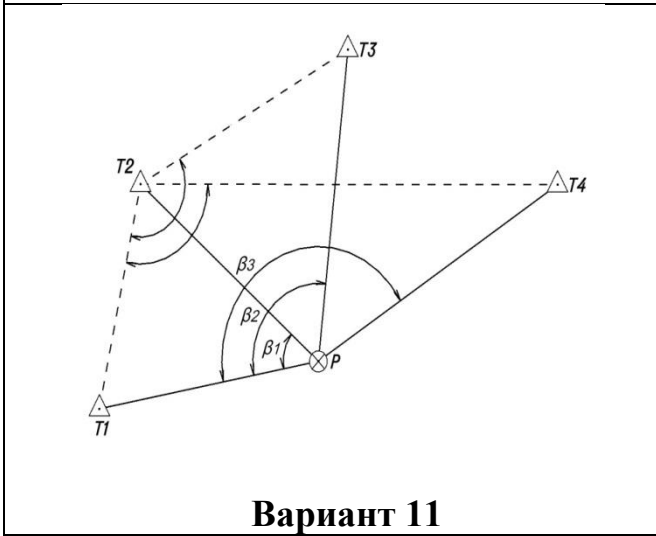
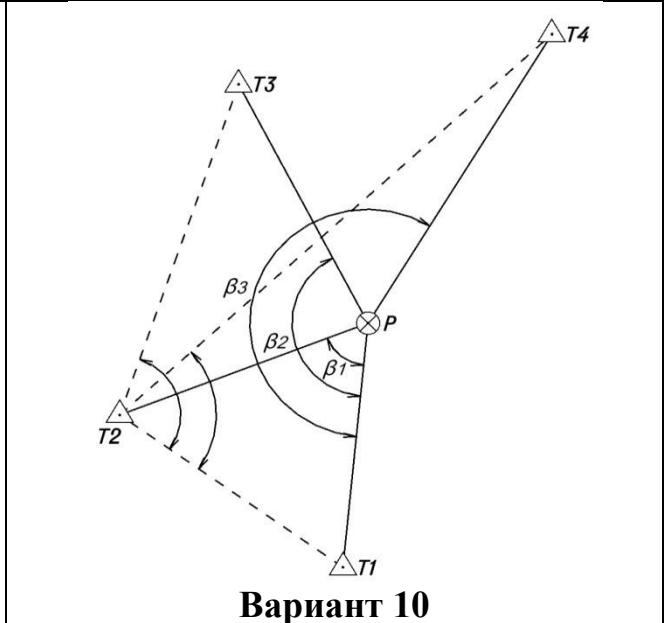
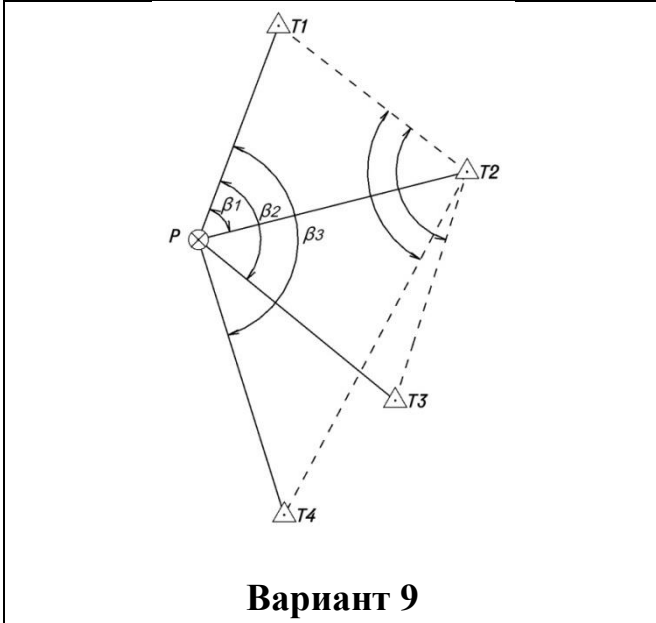
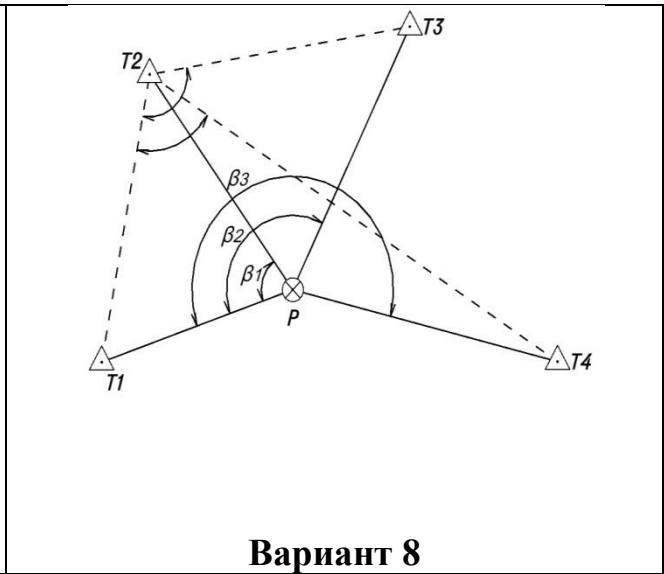
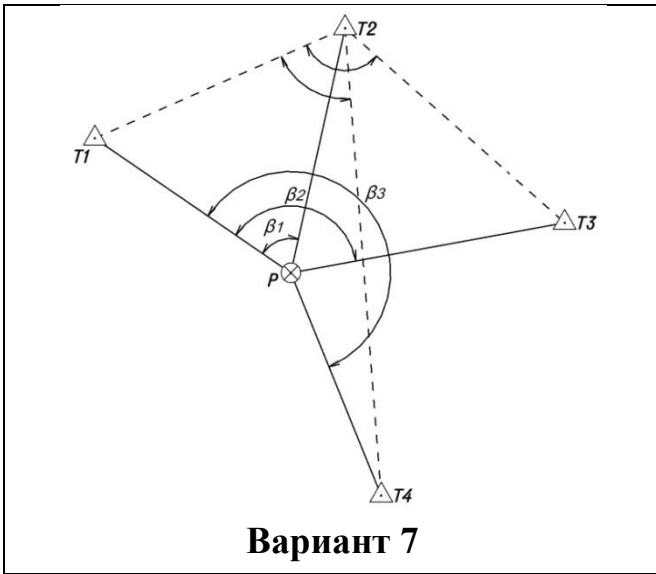
Таблица 10 – Исходные данные для определения координат пункта обратной угловой засечкой

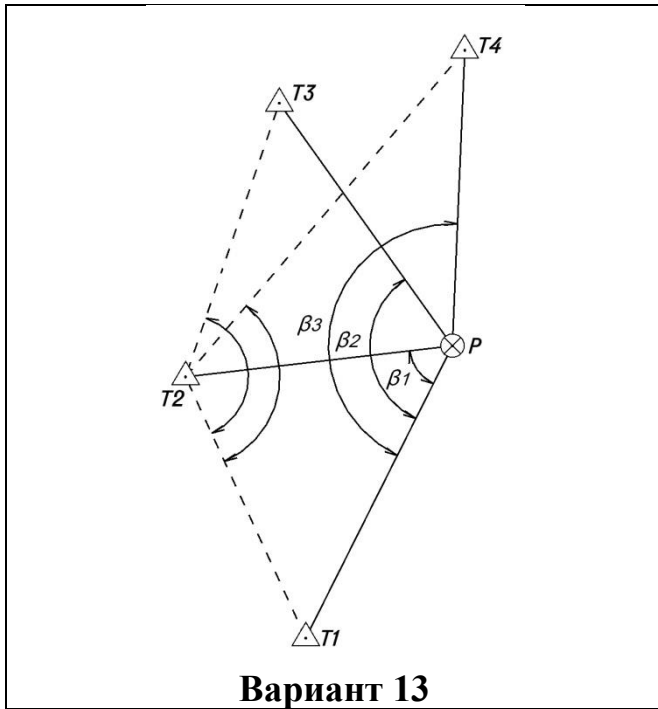
№ варианта	Координаты	Координаты пунктов				Измеренные углы			Примечание
		T1	T2	T3	T4	β_1	β_2	β_3	
1	X	270,900	345,200	280,200	175,800	62°25'38"	130°24'41"	187°10'38"	
	У	186,100	300,200	410,300	420,500				
2	X	445,800	530,150	480,200	375,400	70°08'18 "	135°36'29"	190°53'26"	
	У	260,700	365,400	475,400	485,900				
3	X	350,400	375,800	353,500	300,400	47°12'04 "	96°57'33"	149°40'46"	
	У	480,500	525,700	574,700	595,300				
4	X	1045,200	1060,700	975,300	865,300	56°36'01"	102°25'26"	148°12'45"	
	У	675,700	807,200	885,700	860,500				
5	X	410,300	530,600	608,100	525,800	74°25'12"	156°49'07"	214°15'04"	
	У	528,700	505,700	630,300	718,700				
6	X	285,500	367,500	360,200	317,000	52°30'01"	116°16'39"	155°17'18"	
	У	325,500	356,000	460,500	508,400				
7	X	240,900	290,600	202,800	79,800	68°39'07"	135°44'06"	213°32'04"	
	У	250,600	365,300	465,900	381,800				
8	X	185,200	292,800	310,700	185,400	71°46'06"	135°15'49"	212°08'45"	
	У	60,300	80,500	190,200	252,500				
9	X	725,800	660,500	558,100	506,900	55°14'33"	108°41'42"	142°07'33"	
	У	456,100	540,400	508,300	458,600				
10	X	118,300	178,800	310,200	330,100	63°19'44"	146°48'05"	205°51'58"	
	У	120,500	35,100	80,600	200,500				
11	X	295,800	390,700	447,600	390,500	50°20'42"	106°46'35"	158°29'48"	
	У	330,200	350,900	454,900	560,100				
12	X	145,100	215,300	240,200	223,900	61°10'31"	108°42'20"	137°22'13 "	
	У	162,300	175,500	233,500	273,000				

13	X	200,200	300,500	405,600	425,900	56°59'14"	118°39'49"	156°05'34"	
	Y	125,500	80,100	115,500	185,600				
14	X	575,200	560,700	635,100	700,800	50°11'11"	101°32'23"	135°55'42"	
	Y	440,500	345,300	279,600	280,000				
15	X	225,700	185,100	210,200	292,600	52°36'03"	98°17'50"	144°28'04"	
	Y	380,400	305,300	225,400	220,800				
16	X	265,800	210,300	285,500	336,900	45°14'48"	111°23'56"	138°46'53"	
	Y	635,000	548,100	432,300	411,800				
17	X	355,900	325,200	385,900	472,200	48°58'05"	100°08'24"	154°23'13"	
	Y	415,600	330,500	265,100	251,300				
18	X	623,100	677,900	658,700	597,700	52°52'06"	116°30'50"	155°18'50"	
	Y	282,500	344,300	444,200	476,200				
19	X	658,700	756,000	775,500	653,800	51°51'11"	103°53'14"	170°27'19"	
	Y	400,800	464,100	580,800	661,800				
20	X	445,300	527,800	520,700	466,200	44°47'06"	105°54'47"	138°31'11 "	
	Y	276,800	320,900	444,200	472,500				
21	X	72,500	40,200	153,400	255,600	54°03'42"	110°54'35"	147°33'39"	
	Y	263,900	139,300	41,200	53,000				
22	X	559,100	637,200	639,300	604,300	38°35'16"	80°42'30"	128°43'40"	
	Y	159,400	202,100	291,400	360,500				
23	X	324,090	526,660	612,720	549,170	50°18'53"	102°47'17"	150°46'02"	
	Y	317,380	337,950	525,720	692,160				
24	X	622,420	732,920	951,110	1066,530	46°30'23"	100°28'58"	152°19'38"	
	Y	711,610	577,820	561,350	746,340				
25	X	138,880	373,390	481,340	493,150	51°16'52 "	107°44'05"	138°46'30"	
	Y	237,470	150,350	385,920	494,350				

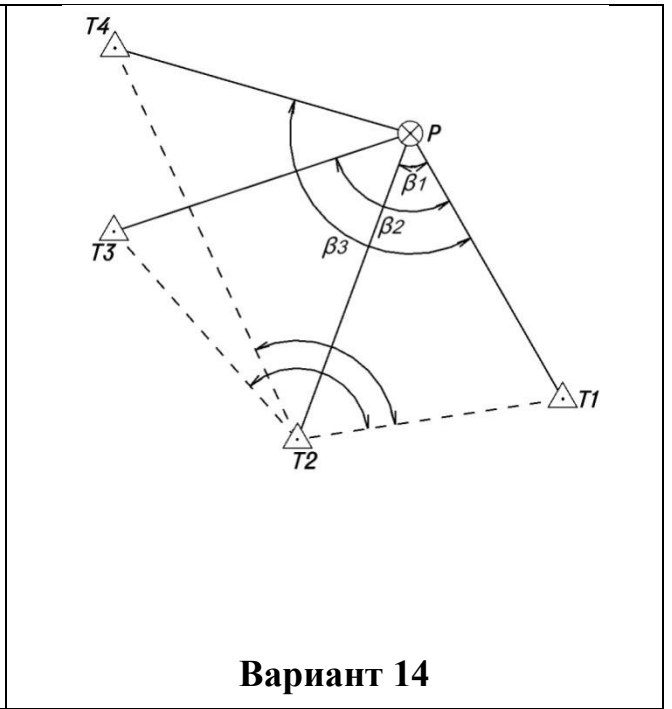
Схемы засечек к вариантам для определения координат пункта обратной
угловой засечкой



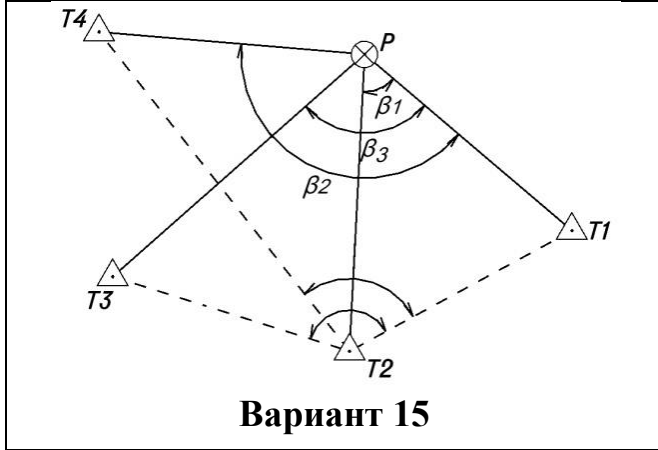




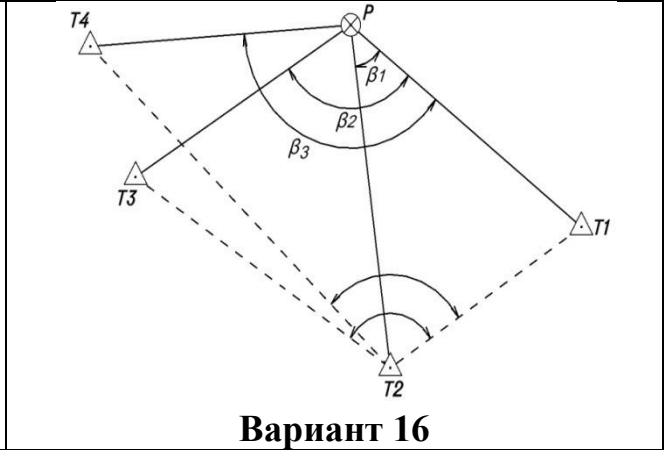
Вариант 13



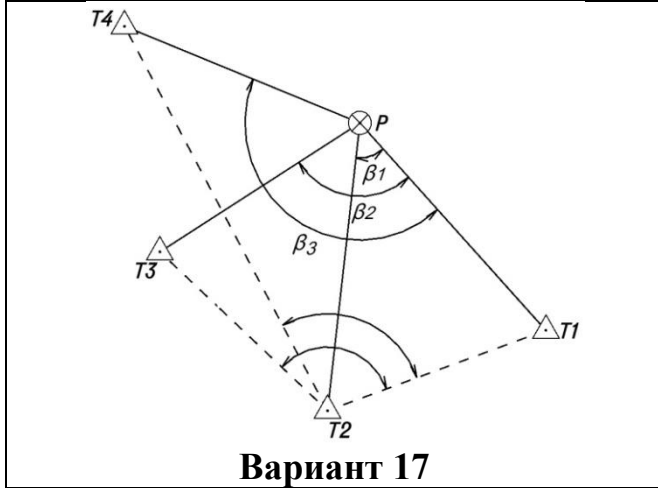
Вариант 14



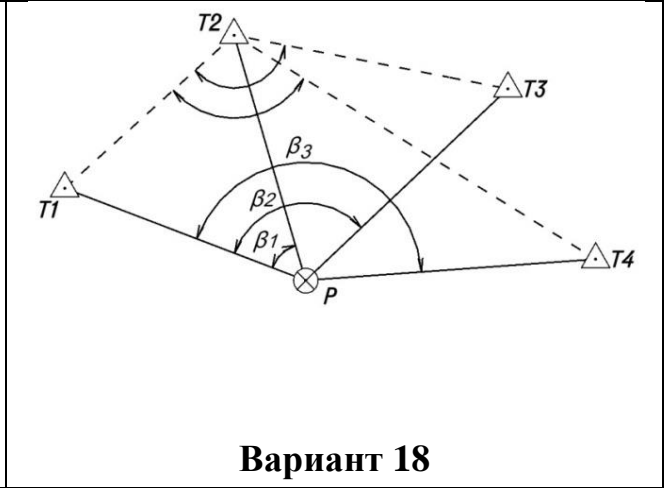
Вариант 15



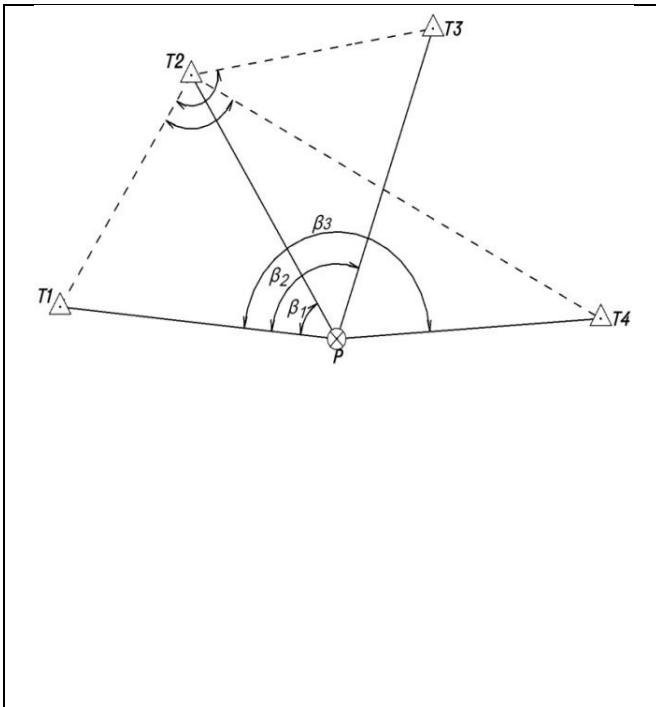
Вариант 16



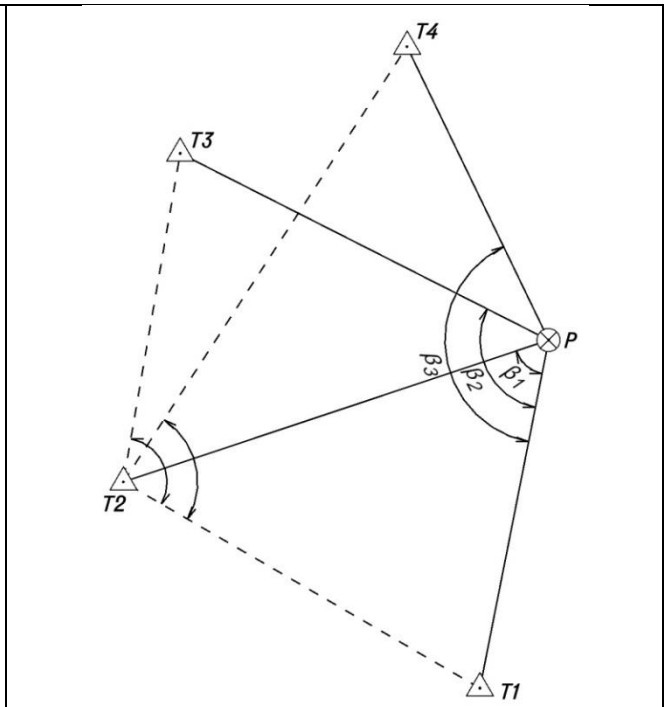
Вариант 17



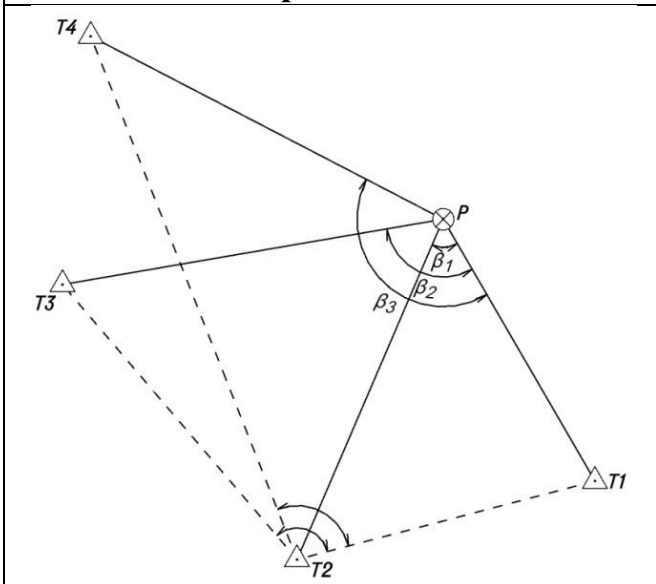
Вариант 18



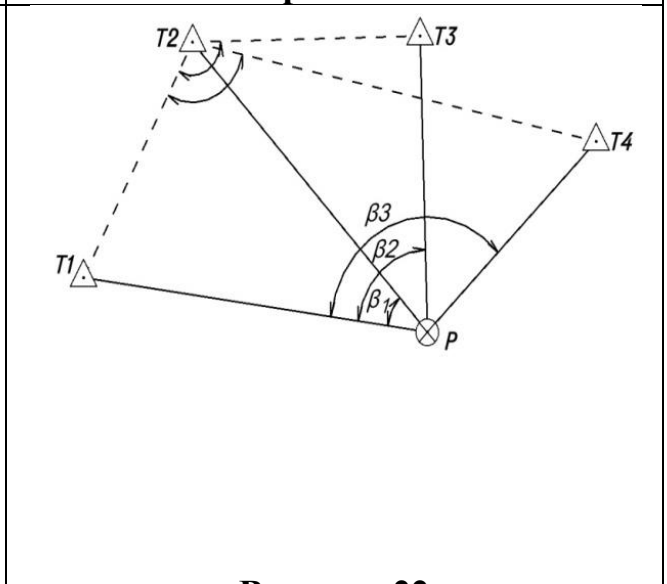
Вариант 19



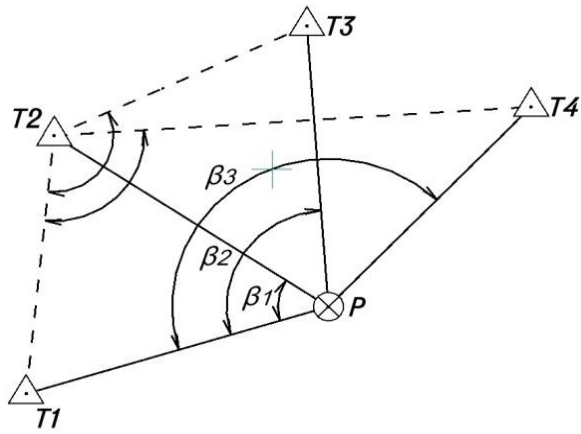
Вариант 20



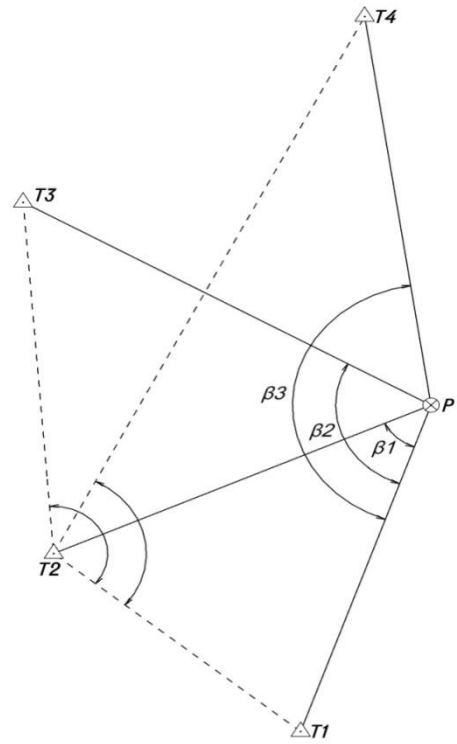
Вариант 21



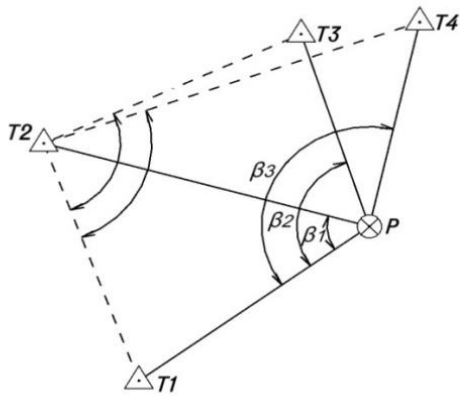
Вариант 22



Вариант 23



Вариант 24



Вариант 25

Лабораторная работа №5 Определение координат точек разомкнутого теодолитного хода с координатной привязкой

Определение координат разомкнутого теодолитного хода с координатной привязкой производится на закрытой местности при редкой сети опорных пунктов. В таком случае производится прокладка теодолитного хода между двумя исходными пунктами без «примычных углов».

Основным недостатком способа является отсутствие в геодезической сети избыточных измерений, что не позволяет выполнить уравнивание хода.

В случае, если разомкнутый теодолитный ход опирается на точки А и В (опорные пункты), то вычисление координат точек 1, 2, 3, 4, 5 и б производится в следующей последовательности:

1) По формулам обратной геодезической задачи вычисляют дирекционный угол и расстояние между исходными пунктами А и В:

$$\alpha_{A-B} = \arctg \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}; \quad d = \frac{X_B - X_A}{\cos \alpha_{A-B}} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin \alpha_{A-B}} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}.$$

2) Вводят условную систему координат с началом в точке А, направив ось абсцисс по стороне А-1. Тогда условные координаты начального пункта будут равны: $X_A' = 0; Y_A' = 0$, а дирекционный угол $\alpha_{A-1} = 0^\circ$.

3) Вычисляют координаты всех точек хода, включая исходный пункт В в условной системе координат.

4) По условным координатам пункта В вычисляют условный дирекционный угол линии АВ и для контроля – расстояние АВ:

$$\alpha_{AB}' = \arctg \frac{Y_B'}{X_B'};$$
$$d_{AB}' = \frac{X_B'}{\cos \alpha_{A-B}} = \frac{Y_B'}{\sin \alpha_{A-B}} = \sqrt{(X_B')^2 + (Y_B')^2}.$$

5) Определяют дирекционный угол первой стороны в истинной системе координат, как:

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{AB} - \alpha_{AB}'$$

6) Далее вычисляют координаты точек хода в истинной системе координат.

Определить координаты точек разомкнутого теодолитного хода при следующий исходных данных:

$$\begin{aligned}
 X_A &= 7992,94 \text{ м} & Y_A &= 1331,82 \text{ м} \\
 \beta_1 &= 190^\circ 59' 00'' & d_1 &= 232,09 \text{ м} \\
 \beta_2 &= 199^\circ 16' 48'' & d_2 &= 221,45 \text{ м} \\
 \beta_3 &= 200^\circ 54' 12'' & d_3 &= 218,32 \text{ м} \\
 \beta_4 &= 188^\circ 22' 48'' & d_4 &= 220,02 \text{ м} \\
 \beta_5 &= 181^\circ 49' 24'' & d_5 &= 209,05 \text{ м} \\
 \beta_6 &= 192^\circ 11' 36'' & d_6 &= 287,77 \text{ м} \\
 & & d_7 &= 281,77 \text{ м} \\
 X_B &= 9244,05 \text{ м} & Y_B &= 496,47 \text{ м}
 \end{aligned}$$

Результаты расчетов представлены в таблице:

Точки	Координаты, м		Приращение координат, м		Румб ° ‘ ‘‘		α ° ‘ ‘‘	ТЗ
	X	Y	ΔX	ΔY	Напр.	Значение	Значение	
A	7992,94	1331,82						
			1251,11	-835,35	СЗ	33°43'48''	326°16'12''	1504,36
B	9244,05	496,47						

Таблица 11 – Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода в условной системе координат

Точки	Измеренные углы	Дирекционный угол	Длина линии, м	Приращение координат, м		Координаты, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
A						0,00	0,00
		0°00'00"	232,09	232,09	0,00		
1	190°59'00"					232,09	0,00
		349°01'00"	221,45	217,39	-42,19		
2	199°16'48"					449,48	-42,19
		329°44'12"	218,32	188,57	-110,03		
3	200°54'12"					638,05	-152,22
		308°50'00"	220,02	137,97	-171,39		
4	188°22'48"					776,02	-323,61
		300°27'12"	209,05	105,95	-180,21		
5	181°49'24"					881,97	-503,82
		298°37'48"	287,77	137,89	-252,58		
6	192°11'36"					1019,86	-756,40
		286°28'12"	281,77	77,89	-270,21		
B						1099,75	-1026,61

Таблица 12 – Переход от условной к истинной системе координат

Точки	Координаты, м		Приращение координат, м		Румб ° ""		α' ° ""	ТЗ"
	X'	Y'	$\Delta X'$	$\Delta Y'$	Напр.	Значение	Значение	
A	0,00	0,00						
			1099,75	-1026,61	СЗ	43°01'48"	316°58'12"	1504,45
B	1099,75	-1026,61						

Разность значений длины линии АВ, Вычисленных в истинных и условных системах координат $f_d^{\text{доп}} = d_{AB} - d_{AB}'$ представляет собой абсолютную невязку хода, которая не должна превышать допустимой величины, в рассматриваемом примере 1:3000. $f_d^{\text{доп}} = \frac{1}{3000} d_{AB} = \frac{1504}{3000} = 0,50$ м.

Фактическая разность $f_d = d_{AB} - d_{AB}' = 1504,36 - 1504,45 = 0,09 < 0,5$ м, т.е. условие удовлетворяется.

Дирекционный угол первой стороны хода в истинной системе координат равен: $\alpha = 326°16'12'' - 316°58'12'' = 9°18'00''$.

Таблица 13 – Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода в истинной системе координат

Точки	Измеренные углы	Дирекционный угол	Длина линии, м	Приращение координат, м		Координаты, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
A						7992,94	1331,82
		9°18'00"	232,09	229,04 ⁻¹	37,51 ⁺¹		
1	190°59'00"					8221,97	1369,34
		358°19'00"	221,45	221,35 ⁻¹	6,51 ⁺¹		
2	199°16'48"					8443,31	1362,84
		339°02'12"	218,32	203,87 ⁻¹	-78,11		
3	200°54'12"					8647,17	1284,73
		318°08'00"	220,02	163,85 ⁻¹	-146,84 ⁺¹		
4	188°22'48"					8811,01	1137,90
		309°45'12"	209,05	133,68 ⁻¹	-160,72		
5	181°49'24"					8944,68	977,18
		307°55'48"	287,77	176,89 ⁻¹	-226,98 ⁺¹		
6	192°11'36"					9121,56	750,21
		295°46'12"	281,77	122,50 ⁻¹	-253,75 ⁺¹		
B						9244,05	496,47
	$f_X = \sum X_{\text{выч}} - (X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}})$ $f_Y = \sum Y_{\text{выч}} - (Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}})$			$f_X = +0,07$	$f_Y = -0,05$		

Далее представлены варианты исходных данных для выполнения лабораторной работы.

Вариант 1

Название точек	координаты	
	X	Y
A	7616,14	1710,60
B	9139,66	2622,74

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		221,70
1	196°50'24"	286,02
2	180°39'6"	286,91
3	180°40'0"	227,01
4	182°23'24"	292,84
5	199°24'18"	246,94
6	192°22'18"	225,88
B		

Вариант 2

Название точек	координаты	
	X	Y
A	6447,35	3330,61
B	4878,32	3403,93

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		290,43
1	190°46'36"	272,78
2	183°53'48"	227,49
3	196°42'24"	206,32
4	197°03'24"	283,46
5	184°31'30"	207,20
6	190°26'18"	211,26
B		

Вариант 3

Название точек	координаты	
	X	Y
A	9750,82	1140,85
B	9260,16	2429,09

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		242,67
1	189°45'30"	276,09
2	199°31'12"	204,95
3	200°52'42"	204,20
4	199°33'54"	277,17
5	196°49'24"	242,38
6	188°32'06"	226,26
B		

Вариант 4

Название точек	координаты	
	X	Y
A	5648,07	1190,32
B	4479,52	2154,00

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		263,17
1	196°01'42"	286,51
2	194°33'54"	226,53
3	184°39'24"	201,20
4	201°37'00"	227,76
5	196°43'12"	281,02
6	197°12'12"	200,18
B		

Вариант 5

Название точек	координаты	
	X	Y
A	9051,20	9542,66
B	7461,55	8755,87

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		249,39
1	180°11'30"	282,48
2	182°29'42"	276,45
3	188°39'06"	268,28
4	193°36'18"	280,75
5	185°50'06"	229,52
6	192°32'12"	254,96
B		

Вариант 6

Название точек	координаты	
	X	Y
A	7530,98	6773,99
B	6731,07	8101,19

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		261,56
1	187°58'48"	238,06
2	184°27'30"	214,53
3	192°10'24"	287,09
4	197°48'18"	257,32
5	196°57'06"	212,21
6	182°26'30"	206,24
B		

Вариант 7

Название точек	координаты	
	X	Y
A	7301,27	2375,76
B	6357,22	1205,49

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		227,94
1	200°39'12"	285,56
2	192°24'42"	273,10
3	195°27'30"	282,04
4	197°56'54"	220,79
5	202°06'30"	224,89
6	194°50'42"	297,07
B		

Вариант 8

Название точек	координаты	
	X	Y
A	4736,54	7603,78
B	5322,41	9096,59

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		237,62
1	202°24'30"	292,03
2	186°18'30"	206,55
3	194°12'18"	249,10
4	187°43'18"	263,13
5	196°49'54"	266,58
6	200°54'48"	289,50
B		

Вариант 9

Название точек	координаты	
	X	Y
A	1618,36	4503,75
B	3233,38	4545,38

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		246,03
1	187°54'18"	256,86
2	187°54'42"	244,17
3	190°26'48"	218,19
4	196°57'00"	258,95
5	184°55'54"	263,09
6	188°02'42"	230,78
B		

Вариант 10

Название точек	координаты	
	X	Y
A	5840,17	1509,36
B	5550,93	3051,33

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		200,85
1	183°22'54"	200,36
2	202°12'06"	271,37
3	197°45'00"	253,65
4	185°15'00"	226,53
5	184°09'24"	293,55
6	190°43'12"	244,41
B		

Вариант 11

Название точек	координаты	
	X	Y
A	2504,67	9034,74
B	2862,89	7711,55

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		228,16
1	188°01'42"	206,81
2	182°26'30"	200,94
3	194°44'48"	208,19
4	200°00'36"	201,34
5	199°55'48"	283,54
6	189°22'12"	217,78
B		

Вариант 12

Название точек	координаты	
	X	Y
A	6350,14	8492,57
B	7608,72	7420,59

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		230,23
1	181°00'36"	290,63
2	183°19'42"	225,27
3	194°03'48"	280,21
4	199°41'36"	249,34
5	194°50'06"	218,50
6	183°04'36"	296,17
B		

Вариант 13

Название точек	координаты	
	X	Y
A	8426,22	1195,54
B	9569,59	2226,55

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		290,64
1	194°08'30"	264,15
2	200°49'36"	272,35
3	185°46'06"	217,54
4	202°02'06"	297,86
5	197°49'36"	279,33
6	201°06'54"	202,98
B		

Вариант 14

Название точек	координаты	
	X	Y
A	4921,02	5226,35
B	5986,92	6355,57

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		236,29
1	184°08'24"	250,19
2	196°30'18"	224,96
3	193°31'48"	238,51
4	191°43'36"	299,04
5	181°31'12"	223,36
6	199°52'30"	203,87
B		

Вариант 15

Название точек	координаты	
	X	Y
A	4787,76	8316,10
B	6163,07	7280,68

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		233,42
1	197°38'42"	296,12
2	191°26'36"	296,20
3	181°39'06"	241,69
4	183°09'06"	240,28
5	186°27'18"	249,51
6	186°04'06"	218,92
B		

Вариант 16

Название точек	координаты	
	X	Y
A	6227,14	3438,25
B	7732,71	2581,77

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		267,25
1	184°10'12"	248,99
2	183°22'00"	255,56
3	191°06'30"	282,71
4	190°29'36"	256,98
5	182°12'18"	242,53
6	199°55'06"	254,86
B		

Вариант 17

Название точек	координаты	
	X	Y
A	4779,99	3814,22
B	6149,52	3115,72

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		285,58
1	202°04'48"	255,05
2	197°19'36"	232,43
3	192°31'30"	217,95
4	193°57'18"	282,26
5	200°08'12"	214,68
6	181°03'24"	297,23
B		

Вариант 18

Название точек	координаты	
	X	Y
A	6227,14	3438,25
B	7732,71	2581,77

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		289,41
1	187°58'00"	242,82
2	186°09'12"	213,64
3	184°35'12"	240,44
4	190°23'00"	296,68
5	193°02'06"	226,09
6	201°23'18"	201,84
B		

Вариант 19

Название точек	координаты	
	X	Y
A	6227,14	3438,25
B	7732,71	2581,77

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		257,59
1	199°05'54"	283,57
2	202°25'42"	276,91
3	199°42'00"	293,83
4	195°30'36"	280,28
5	186°10'00"	295,10
6	184°36'18"	238,55
B		

Вариант 20

Название точек	координаты	
	X	Y
A	4663,40	3252,07
B	5062,04	1562,19

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		294,30
1	191°14'06"	227,79
2	185°23'30"	205,84
3	197°40'30"	274,18
4	183°44'12"	290,96
5	181°06'12"	266,48
6	194°12'48"	261,08
B		

Вариант 21

Название точек	координаты	
	X	Y
A	3921,78	7119,20
B	2474,93	7544,05

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		224,21
1	189°09'36"	207,88
2	181°05'30"	209,33
3	185°41'54"	275,46
4	182°53'42"	237,63
5	201°51'30"	231,07
6	201°54'24"	213,91
B		

Вариант 22

Название точек	координаты	
	X	Y
A	5223,97	1223,86
B	6316,97	2463,51

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		219,39
1	199°37'24"	293,27
2	190°19'18"	283,60
3	199°25'24"	298,31
4	183°04'18"	211,44
5	191°22'06"	246,12
6	201°34'30"	286,58
B		

Вариант 23

Название точек	координаты	
	X	Y
A	6577,48	9463,61
B	5859,42	8098,86

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		258,23
1	201°10'18"	268,01
2	192°33'00"	236,75
3	187°29'30"	204,37
4	197°05'12"	212,46
5	180°23'06"	273,51
6	190°08'42"	217,04
B		

Вариант 24

Название точек	координаты	
	X	Y
A	8220,09	4579,27
B	9077,08	3447,48

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		267,78
1	198°51'06"	201,79
2	198°00'36"	228,18
3	192°54'48"	292,38
4	195°10'06"	246,11
5	201°51'18"	263,57
6	201°42'00"	212,30
B		

Вариант 25

Название точек	координаты	
	X	Y
A	7616,14	1710,60
B	9139,66	2622,74

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		221,70
1	196°50'24"	286,02
2	180°39'06"	286,91
3	180°40'00"	227,01
4	182°23'24"	292,84
5	199°24'18"	246,94
6	192°22'18"	225,88
B		

Вариант 26

Название точек	координаты	
	X	Y
A	6447,35	3330,61
B	4878,32	3403,93

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		290,43
1	190°46'36"	272,78
2	183°53'48"	227,49
3	196°42'24"	206,32
4	197°03'24"	283,46
5	184°31'30"	207,20
6	190°26'18"	211,26
B		

Вариант 27

Название точек	координаты	
	X	Y
A	9750,82	1140,85
B	9260,16	2429,09

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		242,67
1	189°45'30"	276,09
2	199°31'12"	204,95
3	200°52'42"	204,20
4	199°33'54"	277,17
5	196°49'24"	242,38
6	188°32'06"	226,26
B		

Вариант 28

Название точек	координаты	
	X	Y
A	5648,07	1190,32
B	4479,52	2154,00

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		263,17
1	196°01'42"	286,51
2	194°33'54"	226,53
3	184°39'24"	201,20
4	201°37'00"	227,76
5	196°43'12"	281,02
6	197°12'12"	200,18
B		

Вариант 29

Название точек	координаты	
	X	Y
A	9051,20	9542,66
B	7461,55	8755,87

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		249,39
1	180°11'30"	282,48
2	182°29'42"	276,45
3	188°39'06"	268,28
4	193°36'18"	280,75
5	185°50'06"	229,52
6	192°32'12"	254,96
B		

Вариант 30

Название точек	координаты	
	X	Y
A	3365,65	1788,45
B	2105,15	1196,26

Номер точки	Измеренные углы	Горизонтальное проложение, м
A		220,83
1	197°44'06"	202,43
2	200°46'18"	244,22
3	192°46'48"	215,04
4	192°39'18"	205,26
5	192°11'42"	288,09
6	197°34'42"	231,64
B		

Лабораторная работа №6 Подготовка данных для выноса проектных точек на местность

Задача 1

Вычислить координаты X и Y отметки точки А.

Известны координаты и отметки пунктов 1 и 2 опорной сети, угол β_2 (правый по ходу), расстояние L_{2-A} и угол наклона δ_{2-A} .

Расчеты рекомендуется выполнять в следующем порядке

1. Составить план в масштабе 1:500;
2. По координатам пунктов 1 и 2, решая обратную геодезическую задачу, вычислить дирекционный угол α_{1-2} .

$$\Delta X = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}$$

$$\Delta Y = Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}}$$

$$\text{tgr} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}; r = \arctg \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|$$

Дирекционный угол вычисляем в зависимости от знаков приращения координат.

Четверти и их наименования	Значения дирекционных углов	Связь румбов и дирекционных углов	Знаки приращений координат	
			ΔX	ΔY
I – СВ	$0^\circ - 90^\circ$	$\alpha = r$	+	+
II – ЮВ	$90^\circ - 180^\circ$	$\alpha = 180^\circ - r$	-	+
III – ЮЗ	$180^\circ - 270^\circ$	$\alpha = 180^\circ + r$	-	-
IV – СЗ	$270^\circ - 360^\circ$	$\alpha = 360 - r$	+	-

3. По заданному углу β_2 и вычисленному дирекционному углу α_{1-2} вычислить дирекционный угол α_{2-A} ;

$$\alpha_{2-A} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2$$

4. Зная угол наклона линии δ_{2-A} и расстояние L_{2-A} вычислить горизонтальное проложение ℓ_{2-A} ;

$$\ell_{2-A} = L_{2-A} * \cos(\delta_{2-A})$$

5. Вычислить координаты точки А решая прямую геодезическую задачу;

$$\Delta X = \ell_{2-A} * \cos(\alpha_{2-A});$$

$$\Delta Y = \ell_{2-A} * \sin(\alpha_{2-A});$$

$$X_A = X_2 + \Delta X;$$

$$Y_A = Y_2 + \Delta Y$$

6. Зная отметку H_2 вычислить отметку H_A и вычислить уклон i_{2-A} .

$$i_{2-A} = \text{tg} (\delta_{2-A});$$

$$h_{2-A} = l_{2-A} * i_{2-A};$$

$$H_A = H_2 + h_{2-A}.$$

Варианты исходных данных для решения задачи представлены в таблице:

№ варианта	Координаты пунктов (м)						$\beta^{\circ\Pi}$	$\delta^{\circ\Pi-A}$	$L_{\Pi-A}$ (м)
	1			2					
	X	Y	H	X	Y	H			
1	158,16	164,26	136,29	188,24	53,29	136,29	38°16'30"	4°10'	38,24
2	160,39	161,18	135,15	193,15	55,87	138,15	37°15'00"	3°27'	39,16
3	161,87	159,21	137,83	190,83	59,16	141,86	41°11'00"	3°29'	40,12
4	163,24	167,44	144,15	192,76	61,32	149,16	43°12'00"	7°04'	40,19
5	169,76	169,25	145,28	184,15	73,18	158,70	54°16'30"	2°35'	42,36
6	170,39	172,12	146,15	151,25	84,25	153,12	58°12'30"	3°18'	43,15
7	172,84	179,26	147,83	154,39	94,15	159,60	56°10'00"	4°12'	44,16
8	175,68	183,16	145,29	198,12	58,26	160,23	39°15'30"	3°16'	48,26
9	176,23	184,29	146,18	197,26	61,15	148,12	38°10'30"	4°15'	36,15
10	178,85	187,86	147,33	190,19	63,27	145,23	43°19'00"	5°29'	35,39
11	183,12	184,76	148,74	154,13	64,72	150,16	44°23'30"	6°04'	32,84
12	185,29	159,12	148,55	161,28	65,29	151,20	47°34'00"	5°12'	41,16
13	186,87	193,84	148,231	163,15	69,15	153,34	48°21'30"	4°16'	42,23
14	189,16	195,16	147,18	174,15	70,73	149,22	49°16'30"	3°12'	44,86
15	192,39	156,83	181,36	156,29	71,68	184,16	51°45'00"	5°24'	45,12
16	312,84	116,12	180,29	254,16	61,39	182,30	52°18'00"	5°26'	35,16
17	316,95	120,83	180,35	261,18	65,87	183,40	54°23'00"	4°51'	39,24
18	319,12	121,94	179,16	263,52	74,36	181,15	55°28'30"	4°53'	34,35
19	321,84	128,11	178,32	264,87	73,29	184,36	53°16'30"	3°45'	33,19
20	322,16	129,85	214,03	271,95	78,15	218,10	38°48'00"	2°16'	38,43
21	324,83	131,84	214,38	278,16	81,94	216,40	40°15'30"	4°29'	32,67
22	323,15	134,26	215,69	284,32	83,16	219,35	43°18'00"	3°17'	39,23
23	325,89	135,19	273,85	295,18	85,91	274,10	44°23'00"	5°29'	29,64
24	328,14	126,15	216,25	253,67	73,69	216,40	45°16'00"	6°17'	30,15
25	331,29	127,93	293,29	263,12	70,85	295,16	43°38'16"	2°13'	28,87
26	337,82	124,27	219,35	260,83	63,14	220,10	45°03'30"	4°07'	27,10
27	339,15	123,29	219,10	261,39	64,29	221,10	48°18'00"	8°03'	26,95
28	340,85	129,15	136,10	268,25	57,12	138,10	54°11'30"	9°16'	27,10
29	343,29	130,36	136,23	269,34	84,26	139,45	53°47'00"	7°24'	27,25
30	344,95	131,74	136,37	267,83	79,59	139,16	54°39'00"	6°12'	28,86

Задача 2

Подготовить данные для разбивки строительной сетки.

На плане масштаба 1:500 нанести по координатам пункты опорной сети 1 и 2. Произвольно нанести точки строительной сетки А и В (расстояния между точками рекомендуется 40; 50 или 60м.).

Расчеты рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Определить графически координаты точки А и В.
2. Вычислить дирекционный угол α_{1-2} решая обратную геодезическую задачу.

$$\Delta X = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}$$

$$\Delta Y = Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}}$$

$$\text{tgr} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}; r = \text{arctg} \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|$$

3. Решая обратную геодезическую задачу вычислить горизонтальное проложение ℓ_{1-A} и дирекционный угол α_{1-A} .

$$\ell = \frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}.$$

4. Вычислить угол β_1 .

$$\beta_2 = \alpha_{A-1} + 180^\circ - \alpha_{1-2}.$$

5. Решая обратную геодезическую задачу вычислить горизонтальное проложение ℓ_{2-B} и дирекционный угол α_{2-B} .

6. Вычислить угол β_2 .

7. Вычислить дирекционный угол α_{A-B} – решая обратную геодезическую задачу.

8. Зная дирекционный угол α_{A-B} и дирекционные углы α_{1-A} и α_{2-B} вычислить β_A и β_B .

9. Вычислить ℓ_{A-B} и сравнить с запроектированным расстоянием.

Варианты исходных данных для решения задачи представлены в таблице:

№ варианта	Координаты пунктов (м)			
	I		II	
	X	Y	X	Y
1	310,64	58,13	360,87	16,10
2	311,53	59,26	361,94	10,10
3	314,29	61,39	373,29	12,46
4	315,86	62,84	374,15	14,21
5	316,74	63,14	365,29	13,35
6	318,65	67,28	358,83	12,84
7	324,15	68,34	376,15	14,38
8	322,46	69,37	375,84	17,23
9	324,49	70,84	369,81	19,35
10	325,64	73,15	383,15	19,18
11	327,73	74,26	382,29	21,16
12	328,16	75,39	379,15	22,83
13	329,45	76,15	381,46	23,19
14	330,39	77,83	380,48	24,10
15	331,15	78,16	379,45	26,85
16	336,73	81,26	378,36	31,16
17	338,25	82,39	375,15	30,74
18	339,16	83,35	374,26	32,18
19	340,23	84,38	388,31	33,95
20	341,16	87,69	383,12	37,90
21	610,27	525,14	652,13	455,29
22	612,38	529,36	655,24	456,12
23	618,14	528,74	656,93	457,32
24	617,25	526,15	657,18	457,94
25	618,84	539,74	658,39	458,10
26	620,38	510,24	661,12	459,35
27	621,84	512,36	662,37	460,12
28	622,35	535,14	662,94	461,83
29	623,19	512,89	663,84	462,14
30	624,56	503,64	664,25	463,25

Задача 3

Проектом предусмотрена прокладка нефтепровода через лесной массив. Для этого необходимо прорубить просеку шириной 20 м. В целях ускорения работ просеку целесообразно вести встречно с противоположных концов. По обе стороны от лесного массива имеются пункты геодезической сети, используя которые следует задать направления просеке.

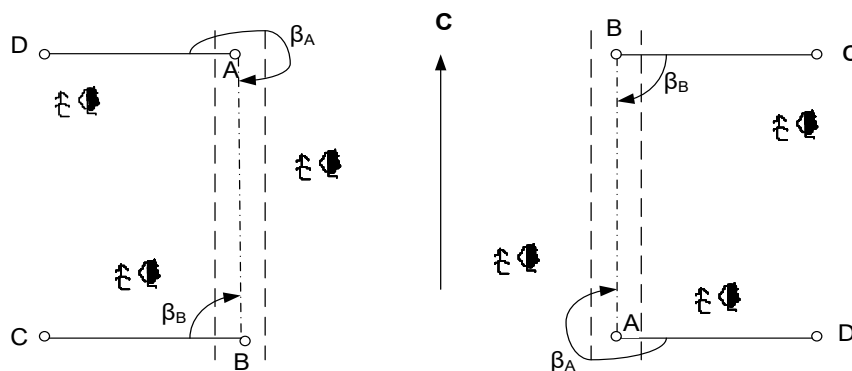


Рисунок 9 – Возможные схемы просеки

Для задания направления просеке по оси трубопровода АВ необходимо вычислить углы направления: $\angle DAB$ и $\angle CBA$

Кроме этого, следует определить:

- 1) длину просеки;
- 2) уклоны i_{AB} и i_{BA} (при горизонтальной местности);

$$i_{AB} = \frac{H_B - H_A}{l_{AB}},$$

- 3) угол наклона (при наклонном рельефе).

$$\delta_{A-B} = \arctg \frac{H_B - H_A}{l_{AB}},$$

План просеки составить в масштабе 1: 2000.

Варианты исходных данных для решения задачи представлены в таблице:

№ варианта	Координаты точки (м)						Дирекционный угол	
	А			В				
	X	Y	H	X	Y	H	α_{AD}	α_{BC}
1	144,56	325,05	150,50	38,65	310,50	151,05	273° 35'	273° 42'
2	145,84	323,16	150,40	40,83	309,26	151,30	272° 15'	273° 18'
3	146,83	324,12	150,30	42,64	310,85	150,80	273° 06'	273° 54'
4	152,40	324,95	150,10	46,50	311,05	150,50	271° 10'	270° 15'
5	150,36	321,18	160,10	45,34	310,23	160,40	273° 15'	272° 18'
6	149,12	320,85	165,20	42,28	312,86	165,80	273° 40'	273° 10'
7	139,48	325,30	221,45	33,56	310,75	222,08	272° 25'	272° 40'
8	141,68	327,16	224,45	36,71	312,83	225,16	273° 11'	273° 46'
9	142,15	329,46	224,80	37,45	313,94	225,93	272° 18'	272° 36'
10	144,70	335,10	225,05	38,65	320,75	225,80	273° 40'	273° 25'

11	146,19	332,26	200,83	40,15	324,38	201,04	272° 06'	272° 18'
12	148,19	333,29	210,18	41,45	326,39	211,41	272° 25'	272° 30'
13	156,11	336,60	110,08	50,20	322,05	110,88	272° 15'	272° 15'
14	152,34	330,26	105,14	46,29	320,12	106,03	272° 34'	272° 08'
15	150,48	328,29	104,26	47,34	321,56	105,15	272° 44'	272° 14'
16	56,40	105,30	95,15	166,35	96,25	95,90	81° 10'	80° 50'
17	56,84	105,43	95,40	165,15	96,93	94,85	82° 15'	82° 43'
18	56,94	105,08	98,10	166,83	96,44	97,10	82° 30'	82° 35'
19	57,25	104,80	95,20	167,40	105,30	96,05	89° 50'	90° 25'
20	58,11	105,20	95,74	168,39	106,34	95,13	88° 15'	81° 24'
21	59,36	105,94	97,18	168,90	108,12	96,83	86° 14'	82° 13'
22	59,30	106,58	95,40	169,30	109,35	96,11	91° 35'	92° 12'
23	62,40	108,26	97,35	173,12	111,42	99,34	90° 29'	93° 18'
24	63,14	110,84	102,16	175,24	113,29	108,25	86° 18'	87° 35'
25	170,55	225,40	150,50	44,50	240,75	150,90	258° 18'	258° 45'
26	168,36	223,20	145,50	43,16	238,57	145,90	261° 15'	262° 38'
27	170,94	229,15	147,20	42,24	239,14	149,36	260° 33'	261° 13'
28	171,20	230,75	145,35	43,85	242,15	146,05	258° 40'	257° 40'
29	172,34	231,19	162,36	44,18	243,26	160,39	261° 18'	262° 30'
30	173,45	230,84	74,03	46,39	244,30	75,94	259° 14'	258° 42'

Задача 4

Известны координаты двух пунктов – А, В и устья скважины Р.

Требуется определить необходимые параметры для задания места положения скважины в натуре двумя способами (полярным и способом угловых засечек). Изобразить обе ситуации на плане в произвольном масштабе.

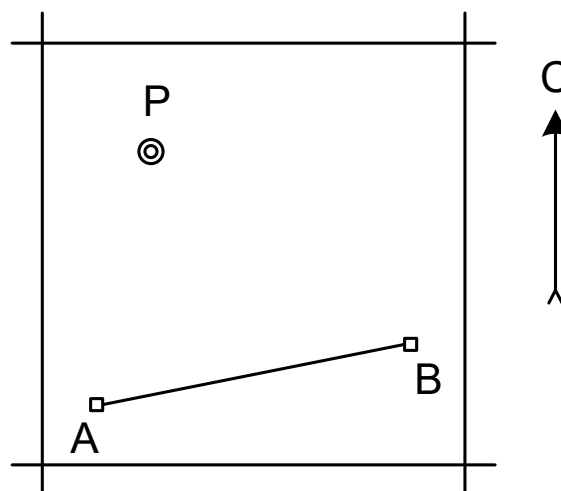


Рисунок 10 – Примерная схема расположения пунктов геодезической сети и устья скважины

Схематическое решение задачи показано на рисунках 11 и 12.

а)

б)

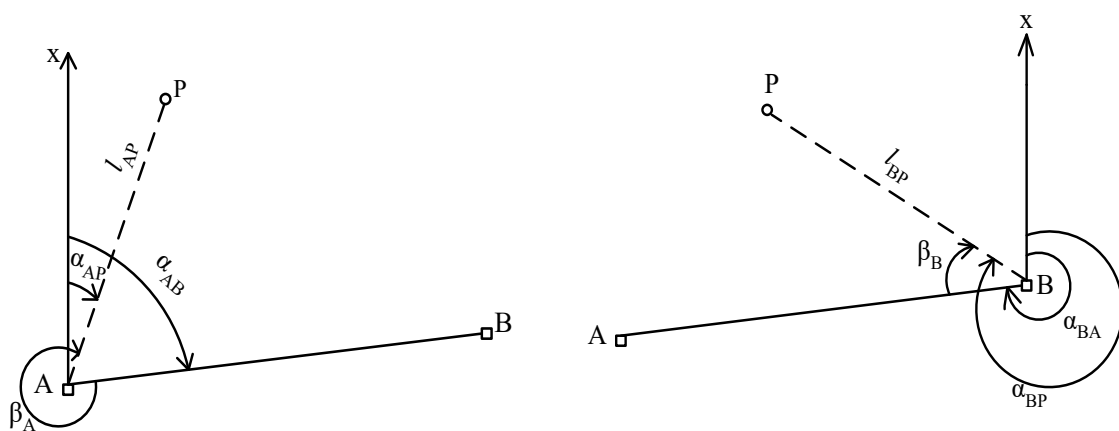


Рисунок 11 – Варианты решения задачи: а, б – полярным способом

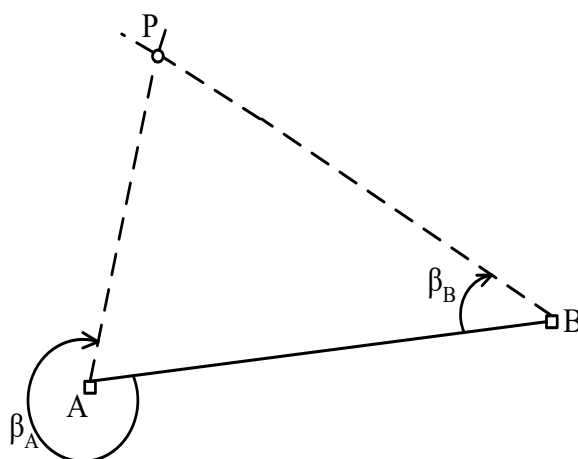


Рисунок 12 – Варианты решения задачи способом угловых засечек

$$\beta_A = 360^\circ - (\alpha_{AB} - \alpha_{AP})$$

$$\beta_B = \alpha_{BP} - \alpha_{BA}$$

l_{AP} , l_{BP} вычисляются по любой из формул.

Варианты исходных данных для решения задачи представлены в таблице:

Обозначение пунктов	Координаты пунктов, м		Обозначение пунктов	Координаты пунктов, м	
	X	Y		X	Y
Вариант 1			Вариант 2		
A	81369,5	14 331,3	A	81 015,3	21 225,3
B	84 126,1	15 860,8	B	76 595,4	16 443,2
P	83 587,2	18 424,3	P	78 134,6	14 286,6
Вариант 3			Вариант 4		
A	83 587,2	18 424,3	A	88 460,9	16 562,6
B	85 660,3	15 966,2	B	87 471,4	13 777,4
P	91 785,0	19 574,6	P	88 587,0	9 135,6
Вариант 5			Вариант 6		
A	91 166,5	14 896,7	A	79 079,3	40 608,5
B	86 808,8	18 794,2	B	79 758,4	41 672,4
P	88 460,9	16 562,2	P	80 098,0	43 448,7
Вариант 7			Вариант 8		
A	80 098,0	43 448,7	A	77 446,0	45 963,8
B	78 277,6	45 742,3	B	78 301,0	46 989,9
P	77 446,0	45 963,8	P	76 249,5	48 723,0
Вариант 9			Вариант 10		
A	74 193,6	47 601,8	A	17 694,1	99 777,4
B	75 024,7	45 675,9	B	15 460,4	96 989,2
P	78 301,0	46 989,9	P	13 986,7	98 383,4
Вариант 11			Вариант 12		
A	56 570,0	81 448,4	A	55 796,2	34 066,2
B	57 190,4	79 621,6	B	54 971,8	31 546,1
P	58 177,8	80 849,0	P	52 658,4	31 811,2
Вариант 13			Вариант 14		
A	52 202,1	28 688,2	A	85 660,2	15 966,2
B	50 579,4	25 635,0	B	84 999,2	13 964,1
P	49 731,6	21 562,2	P	85 927,9	10 979,7
Вариант 15			Вариант 16		
A	82 366,2	11 713,2	A	70 730,8	30 813,1
B	78 134,6	14 286,6	B	72 941,6	30 716,9
P	80 866,2	17 436,7	P	73 993,4	33 343,7
Вариант 17			Вариант 18		
A	75 901,0	30 210,5	A	80 866,2	17 436,7
B	72 748,3	27 877,2	B	84 126,1	15 860,8
P	73 860,4	28 069,1	P	85 660,3	15 966,2
Вариант 19			Вариант 20		
A	72 941,6	30 716,9	A	74 369,9	31 382,9
B	73 993,4	33 343,7	B	73 993,4	33 343,7
P	71 748,7	33 513,1	P	72 683,7	32 162,3

Вариант 21			Вариант 22		
A	72 941,6	30 716,9	A	71 748,7	33 513,1
B	70 730,8	30 813,1	B	69 237,0	34 4393,9
P	72 748,3	27 877,2	P	70 730,8	302 813,1
Вариант 23			Вариант 24		
A	69 752,4	35 323,6	A	72 748,3	27 877,2
B	70 730,8	30 813,1	B	73 860,4	28 069,1
P	72 683,7	32 162,3	P	75 901,0	30 210,5
Вариант 25			Вариант 26		
A	69 476,3	31 051,2	A	72 683,7	32 162,3
B	66 861,0	31 156,2	B	71 016,1	34 002,7
P	70 308,0	28 817,4	P	70 730,8	30 813,1
Вариант 27			Вариант 28		
A	80 369,5	13 331,3	A	80 015,3	20 225,3
B	83 126,1	14 860,8	B	75 595,4	15 443,2
P	82 587,2	17 424,3	P	77 134,6	13 286,6
Вариант 29			Вариант 30		
A	82 587,2	17 424,3	A	87 460,9	15 562,6
B	84 660,3	14 966,2	B	86 471,4	12 777,4
P	90 785,0	18 574,6	P	87 587,0	8 135,6

Задача 5

Залежь встречена наклонной скважиной (рис. 13). Известны: высотные отметки устья скважины (H_y) и поверхности в данной точке (H_{Π}), наклонная длина (L) и угол наклона скважины (δ).

Построить вертикальный разрез через скважину и определить глубину залегания залежи в данной точке (Z).

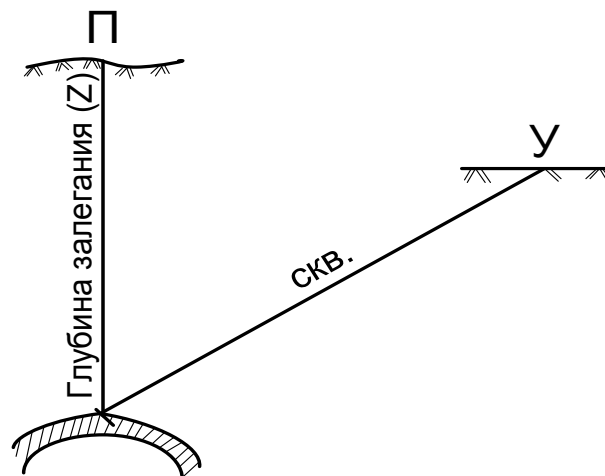


Рисунок 13 – Примерная исходная схема к решению задачи

$$h = L \cdot \sin \delta$$

$$l = L \cdot \cos \delta$$

$$h = \sqrt{L^2 - l^2}$$

$$H_z = H_y - h$$

$$Z = H_{\Pi} + H_z$$

Варианты исходных данных для решения задачи представлены в таблице:

Номер варианта	Номер скважины	Абсолютная отметка, м		Длина скважины (L), м	Угол наклона скважины (δ), град.
		поверхности (H_{Π})	устья скважины (H_y)		
1	32	279,4	285,1	355,4	60
2	34	281,2	285,3	355,4	60
3	60	289,4	283,2	317,0	75
4	69	290,7	283,0	316,7	75
5	151	269,8	279,9	349,3	60
6	158	283,4	279,1	348,8	60
7	169	290,3	277,2	346,9	60
8	177	284,3	277,0	346,4	60
9	204	269,0	275,1	344,0	60
10	291	270,1	273,8	342,7	60
11	294	287,2	275,1	344,4	60
12	299	258,7	260,9	328,4	60
13	208	288,7	275,9	345,1	60
14	240	269,2	275,1	344,0	60
15	244	293,0	275,0	343,5	60
16	261	284,6	274,5	342,9	60
17	281	268,5	274,1	342,7	60
18	300	290,1	274,3	343,2	60
19	309	284,9	273,0	341,8	60
20	333	267,8	272,9	341,7	60
21	371	292,4	277,1	346,6	60
22	41	259,9	271,2	339,7	60
23	43	279,4	270,3	338,7	60
24	49	280,5	270,1	338,2	60
25	178	309,8	318,8	401,0	61
26	191	337,6	325,0	369,0	72
27	198	343,8	329,8	399,0	73
28	165	348,4	333,0	384,0	70
29	40	284,5	275,2	326,5	65
30	37	281,3	277,8	344,9	60

Лабораторная работа №7 Построение топографического плана участка местности по данным нивелирования поверхности и составление проекта вертикальной планировки

Задание 1 Обработка результатов геометрического нивелирования

Геометрическое нивелирование технической точности производится при инженерно-геодезических изысканиях, трассировании, строительстве железных дорог и сооружений, решении инженерно-геодезических задач.

Нивелирование, выполняемое по оси трассы для получения продольного профиля, называется *продольным*, а по линиям, перпендикулярным к оси трассы, для получения поперечных профилей – *поперечным*. Трасса в плане состоит из прямых участков и кривых. В профиле трасса состоит из прямых отрезков различного уклона.

Главные точки трассы – это начало трассы (НТ), конец трассы (КТ), вершины углов поворота (ВУ). Угол поворота трассы φ – это угол между новым направлением трассы и продолжением старого.

Продольное нивелирование выполняется в следующем порядке.

Полевой этап:

- подготовительные работы;
- рекогносцировка;
- разбивка трассы и ее закрепление;
- привязка трассы к пунктам опорной высотной сети;
- нивелирование трассы;

Камеральный этап:

- вычисление отметок пикетов и плюсовых точек;
- построение профиля;
- проектирование.

Трасса разбивается по прямым направлениям на отрезки по 100 м. Отмеченные точки закрепляются колышками и называются «пикеты». Если на интервале в 100 м встречаются препятствия (дороги, ЛЭП, трассы) или перегибы рельефа, то до них измеряется расстояние от заднего пикета. Такие

точки называются «плюсовые» и также закрепляются колышками. В точках поворота трассы измеряется угол между направлениями β и вычисляется угол поворота трассы φ по следующим формулам:

– при правом повороте трассы $\varphi_1 = 180^\circ - \beta_1$;

– при левом повороте трассы $\varphi_2 = \beta_2 - 180^\circ$.

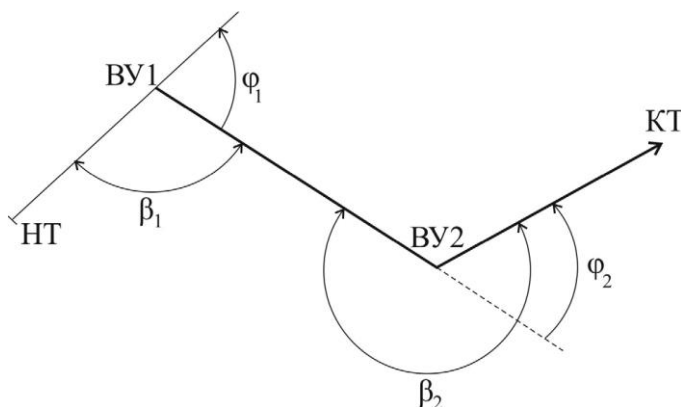


Рисунок 14 – Магистральный ход

Нивелирование трассы выполняется способом «из середины» с использованием двусторонних реек. После установки нивелира и реек в рабочее положение отсчеты по двусторонним рейкам делают в следующей последовательности: задний черный, передний черный, передний красный, задний красный ($Z_ч, П_ч, П_к, Z_к$). У нивелиров с уровнем при трубе перед каждым отсчетом концы пузырька контактного уровня должны быть совмещены, в противном случае их совмещают элевационным винтом.

Условия и исходные данные

Трасса длиной $L = 0,5$ км разбита на пикеты по 100 м. Начало трассы совпадает с пикетом 0. Конец трассы совпадает с пикетом 5. Для высотной привязки трассы были использованы репера $Rp19$ (начало) и $Rp20$ (конец), высотные отметки которых определяются индивидуально в соответствии с вариантом. Трасса имеет один угол поворота – левый. Его величина индивидуальна для каждого студента и вычисляется по формуле:

$$\varphi = 60^\circ 20' + G^\circ,$$

где G° – число градусов, равное номеру индивидуального варианта студента. Радиус поворота кривой для всех вариантов $R = 100$ м. Вершина угла поворота – ПКЗ + 88,62 м.

Румб первоначального прямолинейного участка трассы имеет значение $48^{\circ}50'$ СВ для всех вариантов.

Результаты полевых измерений общие для всех вариантов и приведены в стандартной ведомости, в которой записаны отсчеты по задней и передней рейкам и промежуточные отсчеты.

Пикетаж трассы общий для всех вариантов (рис.14). Проект сооружения составляется по следующим условиям:

- на ПК0 запроектирована насыпь высотой 0,5 м.
- на участке от ПК0 до ПК1 + 80 уклон проектной линии $i_1 = -0,020$;
- на участке от ПК1 + 80 до ПК4 уклон $i_2 = 0$;
- на участке от ПК4 до ПК5 уклон $i_3 = +0,015$.

Необходимо:

- вычислить отметки пикетов и плюсовых точек;
- построить продольный и поперечный профили;
- составить проект.

Пример вычисления индивидуальных исходных данных

Значение угла поворота трассы φ

Вариант студента 9, следовательно, $G^{\circ} = 9$. Тогда величина угла поворота $\varphi = 60^{\circ}20' + G^{\circ} = 60^{\circ}20' + 9^{\circ} = 69^{\circ}20'$.

Отметки исходных реперов

Отметка $Rp19 = 100,100 + W,0W$, где W – вариант обучающегося. Например 12, то отметка репера 19 вычисляется следующим образом: $H(Rp19) = 100,100 + W,0W = 100,100 + 12,012 = 112,112$ м. Отметка репера 20 вычисляется так: $H(Rp20) = H(Rp19) - 2,101$ м + K , где K – номер варианта обучающегося, мм. Например, номер варианта – 9. $K = 0,009$. $H(Rp20) = H(Rp19) - 2,101$ м + $K = 112,112 - 2,101 + 0,009 = 110,020$ м. Отметки реперов 19 и 20 записываются в ведомость геометрического нивелирования в соответствующую графу.

Грунтовый репер 20 (рельс)
от ПК4 + 92,0 вправо 16,0

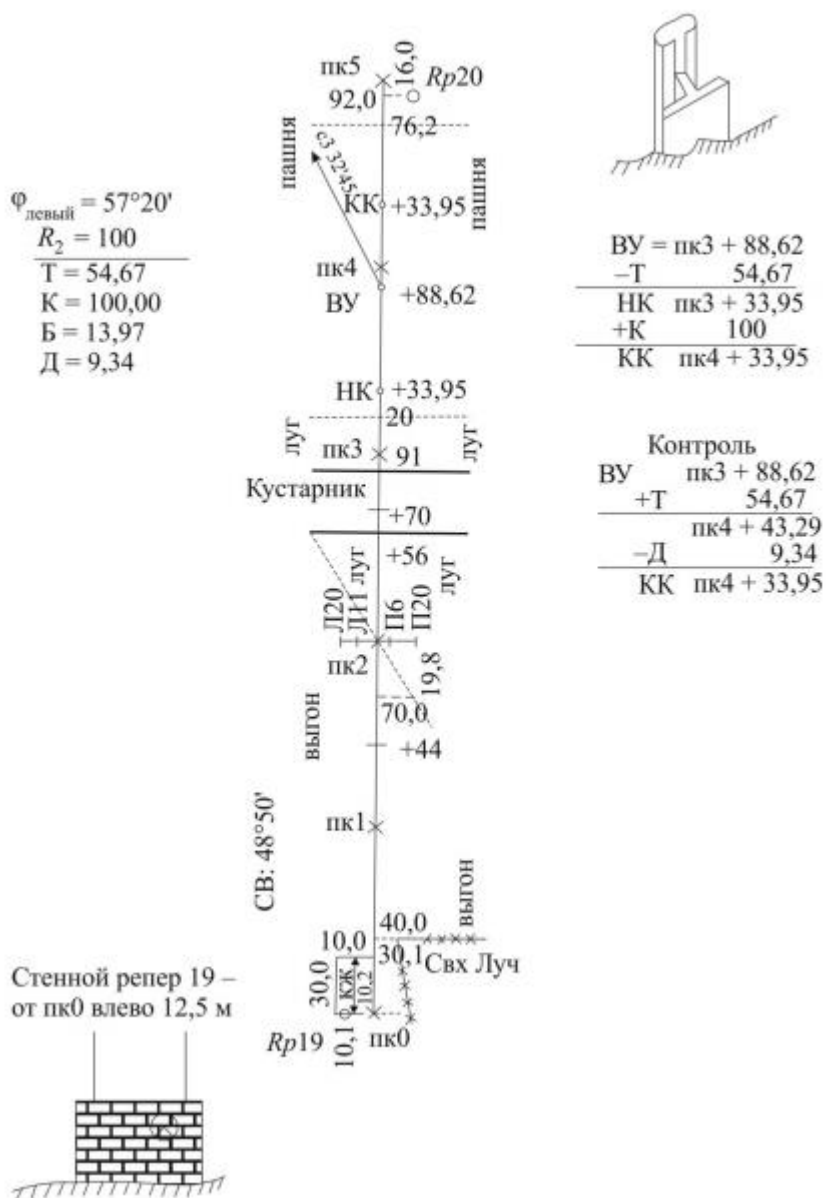


Рисунок 15 – Пикетажная книжка (общая для всех вариантов)

Математическая обработка результатов нивелирования делится на предварительные (обработка полевых журналов) и окончательные вычисления. При окончательных вычислениях оценивается точность результатов нивелирования, уравниваются результаты измерений и вычисляются отметки пикетов и плюсовых точек.

Вычисление превышений между связующими точками

Превышения вычисляются по формулам:

$$h_{\text{ч}} = Z_{\text{ч}} - П_{\text{ч}}; h_{\text{кр}} = Z_{\text{кр}} - П_{\text{кр}},$$

где $h_{\text{ч}}$ и $h_{\text{кр}}$ – превышения, определяемые по черной и красной сторонам рейки, мм;

$Z_{\text{ч}}$ и $Z_{\text{кр}}$ – отсчеты по черной и красной сторонам задней рейки;

$П_{\text{ч}}$ и $П_{\text{кр}}$ – отсчеты по черной и красной сторонам передней рейки.

Если $h_{\text{ч}} - h_{\text{кр}} \leq \pm 5$ мм, то вычисляются средние превышения $h_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (h_{\text{ч}} + h_{\text{кр}})$.

Средние превышения вычисляются до целых миллиметров, т.е. при необходимости результат округляется по правилу округления.

Превышения h и средние превышения $h_{\text{ср}}$ записывают в графы 6; 7; 8 и 9 с соответствующим знаком.

Постраничный контроль

Затем на каждой странице производят постраничный контроль, т.е. контрольные вычисления с целью выявления возможных погрешностей, допущенных в процессе вычислений превышений.

Данный контроль выполняется для каждой страницы отдельно.

Для контроля вычисления превышений суммируются числа по столбцам $\Sigma(3)$; $\Sigma(4)$; $\Sigma(6)$; $\Sigma(7)$; $\Sigma(8)$; $\Sigma(9)$ для каждой страницы. Если вычисления превышений и средних превышений выполнены без ошибок, то выполняется равенство $\Sigma(3) - \Sigma(4) = \Sigma(6) - \Sigma(7) \approx 2[\Sigma(8) - \Sigma(9)]$.

За счет округления величина $2[\Sigma(8) - \Sigma(9)]$ может отличаться от разности $\Sigma(6) - \Sigma(7)$ не более чем на 4–5 мм. Расхождения объясняются возможными отклонениями вследствие округлений при выведении среднего.

Если постраничный контроль не выполняется, то необходимо пересчитать превышения h , средние превышения $h_{\text{ср}}$ и суммы по столбцам 3; 4; 6; 7; 8 и 9.

Вычисление высотной невязки нивелирного хода

Невязка (расхождение) между суммой полученных из нивелирования превышений и теоретической суммой превышений допускается не больше определенной величины, устанавливаемой техническими условиями на производство данного вида работ. Если невязка хода окажется больше допустимой, измерения в нивелирном ходе переделывают.

Невязка f_h разомкнутого нивелирного хода вычисляется по формуле:

$$f_h = \sum h_{\text{ср}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}),$$

где $\sum h_{\text{ср}}$ – сумма средних превышений по всему ходу, мм;

$H_{\text{кон}}$ и $H_{\text{нач}}$ – отметки конечной и начальной точек хода (подставляются в мм). В задании $H_{\text{нач}} = HRp19$ и $H_{\text{кон}} = HRp20$.

Вычисленная невязка хода f_h сравнивается с допустимой $f_{h \text{ доп.}}$:

$$f_{h \text{ доп.}} = \pm 50\sqrt{L},$$

где L – длина трассы, км.

Сравниваются невязки вычисленная и допустимая. Если вычисленная невязка больше допустимой ($f_h > f_{h \text{ доп.}}$), то тщательно проверяют вычисления, записи и знаки чисел. Если вычисленная невязка f_h меньше или равна допустимой ($f_h \leq f_{h \text{ доп.}}$), то невязка f_h распределяется поровну на каждое среднее превышение с противоположным знаком.

Поправка в превышения вычисляется по формуле: $\delta_h = -\frac{f_h}{n}$,

где n – число станций.

Поправки округляются до целых миллиметров и подписываются над средними превышениями.

Контроль вычисления и распределения поправок: сумма поправок должна равняться невязке с противоположным знаком, т.е. $\sum \delta h = - (f_h)$.

Вычисление отметок связующих точек

Отметки связующих точек нивелирного хода вычисляются по формуле:

$$H_{n+1} = H_n + (h_{\text{ср}} + \delta_h),$$

где H_{n+1} – отметка последующей точки, м;

H_n – отметка предыдущей точки, м;

h_{cp} – среднее превышение;

δ_h – поправка в среднее превышение.

Вычисление элементов кривой

Для построения профиля необходимо вычислить элементы кривой: Т – тангенс, К – кривая, Д – домер, Б – биссектриса.

Элементы кривой вычисляются по следующим формулам:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2};$$

$$K = 2\pi R \frac{\varphi}{360};$$

$$D = 2T - K;$$

$$B = R \left(\frac{1}{\cos 0,5 \varphi} - 1 \right);$$

где R – радиус кривой, м;

φ – угол поворота трассы.

Пример вычисления элементов кривой

В примере угол поворота $\varphi = 43^\circ 26'$, радиус кривой R = 150 м.

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 150 \operatorname{tg} \frac{43^\circ 26'}{2} = 59,74 \text{ м};$$

$$K = 2\pi R \frac{\varphi}{360} = 2 \cdot 3,14 \cdot 150 \frac{43^\circ 26'}{360} = 113,65 \text{ м};$$

$$D = 2T - K = 2 \cdot 59,74 - 113,65 = 5,83 \text{ м};$$

$$B = R \left(\frac{1}{\cos 0,5 \varphi} - 1 \right) = 150 \left(\frac{1}{\cos 0,5 \cdot 43^\circ 26'} - 1 \right) = 11,46 \text{ м}.$$

Вычисление пикетажного значения главных точек кривой

Главные точки кривой – это начало кривой (НК), середина кривой (СК) и конец кривой (КК). Пикетажное значение показывает расстояние от начала трассы (НТ) до соответствующей точки.

Вычисление пикетажного значения главных точек кривой выполняется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \text{пкНК} &= \text{пкВУ} - T; \\ \text{пкКК} &= \text{пкНК} + K; \\ \text{пкСК} &= \text{пкНК} + 0,5K. \end{aligned}$$

Контроль:

$$\begin{aligned} \text{пкКК} &= \text{пкВУ} + T - Д; \\ \text{пкКК} &= \text{пкСК} + 0,5K. \end{aligned}$$

Пример вычисления пикетажных значений главных точек кривой

В примере вершина угла поворота $\text{пкЗ} + 15$.

По приведенным исходным данным вычисляются пикетажные значения главных точек кривой:

$$\begin{aligned} \text{пкНК} &= \text{пкВУ} - T = \text{пкЗ} + 15 - 59,74 = 315 - 59,74 = 255,26 = 2 + 55,26; \\ \text{пкКК} &= \text{пкНК} + K = 255,26 + 113,65 = 368,91; \\ \text{пкСК} &= \text{пкНК} + 0,5K = \text{пкЗ} + 15 + 55,26 - 5,83 = 312,08 \end{aligned}$$

Контроль:

$$\begin{aligned} \text{пкКК} &= \text{пкВУ} + T - Д = \text{пкЗ} + 15 + 59,74 - 5,83 = 368,91; \\ \text{пкКК} &= \text{пкСК} + 0,5K = 312,08 + 0,5 \cdot 113,65 = 368,905. \end{aligned}$$

Все вычисленные пикетажные значения измеряются в метрах. Вычисление элементов кривой и пикетажного значения главных точек кривой приводится в форме таблицы.

Наименование и формула	Вычисления
Угол поворота трассы φ	$\Phi = 43^{\circ}26'$
Радиус круговой кривой R	150м
Тангенс $T = R * tg * \frac{\varphi}{2}$	$T = 150tg \frac{43^{\circ}26'}{2} = 59,74\text{м}$
Кривая $K = 2\pi R * \frac{\varphi}{360}$	$K = 2 * 3,14 * 150 * \frac{43^{\circ}26'}{360} = 113,65 \text{ м}$
Домер $D=2T-K$	$D=2*59,74-113,65=5,83 \text{ м}$
Биссектриса $B = R \left(\frac{1}{\cos 0,5\varphi} - 1 \right)$	$B = 150 \left(\frac{1}{\cos 0,5*43^{\circ}26'} - 1 \right) = 11,46 \text{ м}$
Вершина угла поворота	$\text{пкЗ} + 15 = 315 \text{ м}$
$\text{пкНК} = \text{пкВУ} - T$	$\text{пк(НК)} = 315 - 59,74 = 2 + 55,26$
$\text{пкКК} = \text{пкНК} + K$	$\text{пк(КК)} = 255,26 + 113,65 = 368,91$
Контроль: $\text{пкКК} = \text{пкВУ} + T - Д$	$\text{пкКК} = 315 + 59,74 - 5,83 = 368,91$

Вычисление ориентирующих углов прямых участков после углов поворота

Начальное направление трассы выдается в задании. После поворота направление трассы меняется. Для вычисления ориентирующего угла прямого участка после поворота сначала вычисляется дирекционный угол первоначального направления по формулам зависимости дирекционных углов и румбов, затем дирекционный угол прямого участка после поворота.

Для правого поворота трассы дирекционный угол прямого участка после поворота (конец кривой – конец трассы КК–пк7) вычисляется по формуле:

$$\alpha_{\text{КК–пк7}} = \alpha_{\text{пк0–НК}} + \varphi.$$

Для левого поворота трассы дирекционный угол направления КК–пк7 вычисляется по формуле

$$\alpha_{\text{КК–пк7}} = \alpha_{\text{пк0–НК}} - \varphi.$$

Пример вычисления ориентирующих углов трассы

Румб начального направления пк0–НК, в примере $r = \text{ЮЗ } 62^\circ 15'$, тогда дирекционный угол направления пк0–НК вычисляется по формуле III четверти:

$$\alpha_{\text{пк0–НК}} = r + 180^\circ = 62^\circ 15' + 180^\circ = 242^\circ 15'.$$

Для правого поворота трассы дирекционный угол направления КК–пк7 вычисляется по формуле:

$$\alpha_{\text{КК–пк7}} = \alpha_{\text{пк0–НК}} + \varphi = 242^\circ 15' + 43^\circ 26' = 285^\circ 41'.$$

И тогда румб прямого участка после поворота будет

$$r = 360^\circ - 285^\circ 41' = 74^\circ 19' (\text{СЗ}).$$

Завершив обработку журнала нивелирования, приступают к построению профиля и проектированию.

Построение профиля

Профиль продольного нивелирования строится на миллиметровой бумаге формата А3, светлой, хорошо читаемой.

Нивелирование трассы завершают графическим оформлением полевых наблюдений – составлением профиля трассы по результатам вычислений в журнале геометрического нивелирования и пикетажной книжки. Для придания профилю наглядности вертикальный масштаб на профиле в десять раз более

крупный, чем горизонтальный. В задании горизонтальный масштаб М 1:2000 и вертикальный М 1:200.

Составление профиля производят в следующей последовательности:

– От нижнего края миллиметровой бумаги отступают вверх на 15–17 см и проводят горизонтальную прямую – линию условного горизонта. Отметку условного горизонта принимают такой, чтобы ни одна точка трассы, построенная в масштабе профиля для вертикальных расстояний, не была ближе 4–6 см от линии условного горизонта.

– Ниже линии условного горизонта строят сетку профиля. Размеры сетки профиля показаны в миллиметрах на рисунке 16.

– От сетки профиля вправо на расстоянии 0,5 см строится профиль.

– В графе «Расстояния» наносят пикетные и плюсовые точки в масштабе для горизонтальных расстояний; откладывают вначале полные пикеты по 100 м, а затем промежуточные точки между пикетами; в графе они отмечаются вертикальными линиями; подписывают расстояния между смежными точками.



Рисунок 16 – Сетка профиля и её размеры

Заполняется графа «Пикеты». В этой графе подписываются пикеты около вертикальных линий, начиная с пикета 0. Репера на профиле не строятся.

ПРОФИЛЬ

Масштабы: горизонтальный 1:5000
вертикальный 1:200

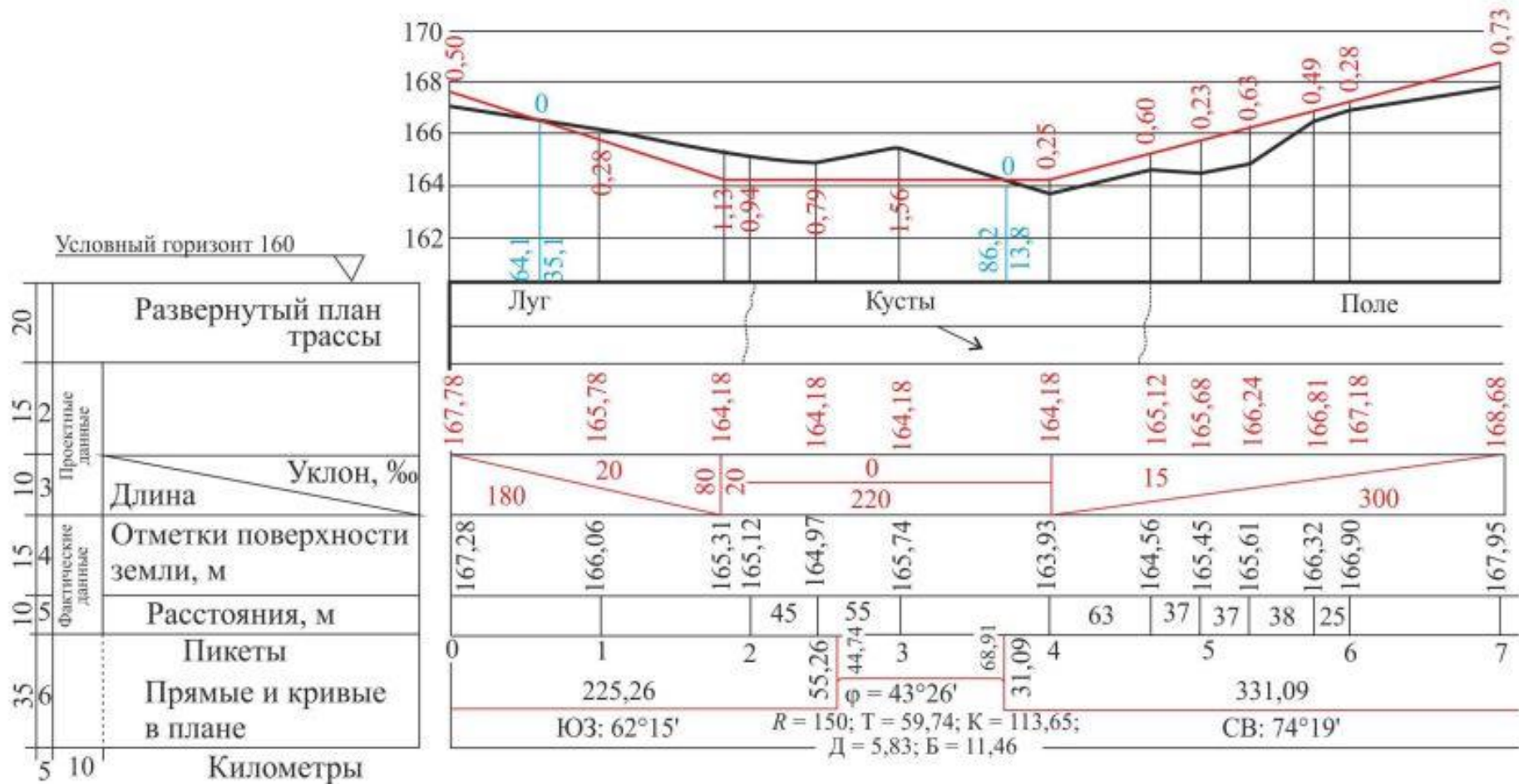


Рисунок 17 – Образец профиля

В примере между пикетами 5 и 6 расположены две плюсовые точки: +37 и +75. Расстояния подписываются 37 и 38 ($75 - 37 = 38$ м) и 25 ($100 - 75$ м). Сумма отрезков $37 + 38 + 25 = 100$ м.

– Графа «Отметки поверхности земли» заполняется из «Ведомости геометрического нивелирования». Отметки выписываются к соответствующим пикетам и плюсовым точкам с точностью 0,01 м.

На нулевом пикете над линией условного горизонта перпендикулярно к ней строят шкалу высот в масштабе для вертикальных расстояний.

Выбор отметки линии условного горизонта

Из отметок поверхности земли выбирается самое маленькое значение. В примере – 163,93. Это число округляется до четного. В примере – 164. Затем отсчитывают 3–6 см по шкале и полученное значение подписывается (164). От этого значения строится шкала, т.е. «+2 м» вверх и «–2 м» вниз.

По выписанным отметкам пикетов и плюсовых точек строится линия профиля. Для этого от линии условного горизонта перпендикулярно к ней откладываются вверх значения отметок пикетов и плюсовых точек с учетом вертикального масштаба и отметки линии условного горизонта. В примере – вертикальный масштаб 1:200.

Все построенные точки соединяются ломаной линией. Получается профиль земной поверхности по линии трассы. От линии условного горизонта до линии профиля проводятся вертикальные линии на пикетах и плюсовых точках.

Графа «Прямые и кривые в плане» заполняется по результатам вычисления пикетажных значений главных точек кривых. В графе проводится прямая линия на расстоянии 10 мм от нижней границы. По пикетажному значению точки «Начало кривой» она наносится на профиль на линии пикетажа от нулевого пикета с учетом горизонтального масштаба. До точки «Начало кривой» трасса показывается прямой линией. Аналогично показывается точка «Конец кривой». От нее трасса также показывается прямой. Между точками

«Начало кривой» и «Конец кривой» ось дороги прерывается и кривая показывается скобой. Если поворот правый, то скоба направлена вверх, если поворот левый, то скоба обращена вниз. Скоба отклоняется на 5 мм.



Рисунок 18 – Заполнение графы «Прямые и кривые на плане»

Вдоль перпендикуляров от пикетажной линии до оси дороги у точек «Начало кривой» и «Конец кривой» подписываются расстояния от заднего пикета до точки и от точки до переднего пикета.

Внутри кривой подписываются угол поворота трассы ϕ , радиус R , тангенс T , кривая K , домер D , биссектриса B .

Над серединой каждой прямой вставки записывают ее длину, а под ней дирекционный угол или румб.

Контролем расстояний служит сумма длин всех прямых вставок и кривых, которая должна быть равна длине всей трассы.

Графа «Развернутый план трассы» заполняется по данным пикетажа трассы (пикетажной книжки). По середине графы проводят ось дороги, условно развернутую в прямую линию. Вдоль линии наносят план местности, прилегающей к трассе, и все объекты, которые находятся в полосе 25 м влево и вправо от оси трассы, показывают границы между угодьями и строения. В точках, соответствующих вершинам углов поворота, показывают направление поворота трассы (вправо или влево).

Нанесение проектной линии

Проектная линия может быть построена различными способами, которые зависят от выданного задания.

В данной работе проектирование выполняется по заданным уклонам и длинам проектной линии.

Исходные данные для проектирования:

- на пикете 0 запроектирована насыпь высотой 0,5 м, тогда проектная отметка на пк0 вычисляется $H_{\text{проект}} = H_{(\text{отм.п.з})} + 0,5$;

- $H_{\text{проект}}$ – проектная отметка на пк0;

- $H_{(\text{отм.п.з})}$ – отметка поверхности земли на пк0 (берется из ведомости «Геометрическое нивелирование»).

Трасса разбивается на три участка: длина первого $S_1 = 180$ м с уклоном проектной линии $i_1 = -0,020$; второй участок $S_2 = 220$ м с уклоном $i_2 = 0$; третий $S_3 = 100$ м с уклоном $i_3 = +0,015$. В графе «Проектные уклоны» проводится вертикальная линия в соответствии с длинами участков. Между этими линиями в зависимости от направления уклона проводят диагональ (слева вверх направо при положительном и слева вниз направо при отрицательном уклоне). Посередине над этими линиями подписывают заданные уклоны, а под линией подписывают расстояние, на котором действует данный уклон. Участки проектной линии с нулевым уклоном показывают горизонтальными линиями. Их проводят посередине графы «Уклоны».

Начальная проектная отметка первого участка:

$$H_{\text{н1}} = H_{\text{проект}} = H_{\text{отм п.з}} + 0,5.$$

Проектная отметка конца первого участка $H_{\text{к}}$ вычисляется по формуле:

$$H_{\text{к1}} = H_{\text{н1}} + i_1 S_1$$

На втором участке уклон $i_2 = 0$, поэтому отметки проектной линии на пикетах второго участка равны вычисленному значению $H_{\text{к1}}$.

На третьем участке начальная отметка проектной линии $H_{\text{н3}}$ равна значению $H_{\text{к1}}$, т.е начальная отметка третьего участка равна конечной отметке

первого участка $H_{н3}=H_{к1}$. Конечная отметка третьего участка вычисляется аналогично конечной отметке первого участка.

Вычисление проектных отметок на пикетах

Эти вычисления выполняются по формуле:

$$H_{n+1} = H_n + i \cdot d,$$

где H_{n+1} – проектная отметка последующей точки, м;

H_n – проектная отметка предыдущей точки, м;

i – уклон проектной линии на данном участке;

d – расстояние между точками.

Проектные отметки вычисляются с точностью до сотых долей метра (0,01м).

Пример вычисления проектных отметок на пикетах

Первый участок:

$$H_{пк0} = H_{отм.п.з} + 0,5 = 167,28 + 0,5 = 167,78;$$

$$H_{пк1} = H_{пк0} + i_1 \cdot d = 167,78 + (-0,020) \cdot 100 = 165,78;$$

$$H_{пк1+80} = H_{пк1} + i_1 \cdot d = 167,58 + (-0,020) \cdot 80 = 164,18;$$

Второй участок: на этом участке нулевой уклон, поэтому отметки на всех пикетах и плюсовых точках принимают значение 164,18.

Третий участок:

$$H_{пк5} = H_{пк4} + i_2 \cdot d = 164,18 + 0,015 \cdot 100 = 165,68;$$

$$H_{пк6} = H_{пк5} + i_2 \cdot d = 165,68 + 0,015 \cdot 100 = 167,18.$$

Вычисленные отметки заносятся в графу «Отметки оси проезжей части» красным цветом.

Вычисление проектных отметок на плюсовых точках

Проектные отметки на плюсовых точках $H_{пл.т}$ вычисляются по формуле:

$$H_{пл.т} = H_{задн.пк} + i \cdot l,$$

Где $H_{задн.пк}$ – проектная отметка заднего пикета, м;

i – уклон данного участка;

l – расстояние от заднего пикета до плюсовой точки, м.

Вычисленные отметки записываются в графу «Отметки оси проезжей части».

Пример вычисления проектных отметок плюсовых точек

Между пикетами 4 и 5 находится плюсовая точка +63. Ее проектная отметка:

$$N_{+63} = N_{\text{пк4}} + i \cdot l = 164,18 + 0,015 \cdot 63 = 165,12 \text{ м.}$$

Вычисление рабочих отметок

Рабочие отметки обозначают объемы насыпи (знак плюс) или выемки (знак минус) на каждом пикете или плюсовой точке и вычисляются по формуле:

$$r = N_{\text{кр}} - N_{\text{ч}},$$

Где r – рабочая отметка на пикете или плюсовой точке, м;

$N_{\text{кр}}$ – проектная отметка на пикете или плюсовой точке, м;

$N_{\text{ч}}$ – отметка земли на том же пикете или плюсовой точке, м.

Рабочие отметки со знаком «плюс» подписываются над проектной линией, со знаком «минус» – под проектной линией красным цветом.

Пример вычисления рабочих отметок

Рабочие отметки на пикетах и плюсовых точках:

$$\text{Для пк0} \cdot r = 167,78 - 167,28 = 0,5;$$

$$\text{Для пк1} \cdot r = 165,78 - 166,06 = 0,28;$$

$$\text{Для пк1+80} \cdot r = 164,18 - 165,31 = -1,13;$$

$$\text{Для пк2} \cdot r = 164,18 - 165,12 = -0,94;$$

$$\text{Для пк2+45} \cdot r = 164,18 - 164,97 = -0,79;$$

$$\text{Для пк3} \cdot r = 164,18 - 165,74 = -1,56;$$

$$\text{Для пк4} \cdot r = 164,18 - 163,93 = 0,25;$$

$$\text{Для пк4+63} \cdot r = 165,12 - 164,52 = 0,60;$$

$$\text{Для пк5} \cdot r = 165,68 - 165,45 = 0,23;$$

$$\text{Для пк6} \cdot r = 167,18 - 166,90 = 0,28;$$

$$\text{Для пк7} \cdot r = 168,68 - 167,95 = 0,73;$$

Отметка поверхности земли на пикете 1 + 80 вычисляется методом пропорций.

Разность отметок поверхности земли между пикетами 1 и 2:

$$165,120 - 166,062 = -0,942 \text{ м,}$$

Тогда $(-0,942) \cdot 100$ м

$X = 80$ м,

следовательно, $X = (-0,942) \cdot 80 / 100 = -0,753$

На данном участке рельеф понижается от пикета 1 к пикету 2, поэтому отметка пк₁₊₈₀ равна $H_{\text{пк}1+80} = H_{\text{пк}1} + X = 166,062 + (-0,753) = 165,31$.

Точки нулевых работ

На интервалах, где у рабочих отметок меняется знак, находятся точки нулевых работ. До этих точек вычисляются расстояния от заднего пикета l_1 до переднего пикета l_2 по формулам:

$$l_1 = (r_1 \cdot d) / (r_1 + r_2);$$

$$l_2 = (r_2 \cdot d) / (r_1 + r_2).$$

Контроль: $l_1 + l_2 = d$,

Где l_1 – расстояние от заднего пикета до точки нулевых работ, м;

l_2 – расстояние от точки нулевых работ до переднего пикета, м;

d – расстояние между пикетами, м.

В формулах рабочие отметки подставляются без учета знака.

Пример.

Смена знаков у рабочих отметок наблюдается на интервале пк0 и пк1.

Тогда расстояние от пикета до точки нулевых работ вычисляется по формулам:

$$l_1 = (r_1 \cdot d) / (r_1 + r_2) = (0,5 \cdot 100) / (0,5 + 0,28) = 64,10 \text{ м;}$$

$$l_2 = (r_2 \cdot d) / (r_1 + r_2) = (0,28 \cdot 100) / (0,5 + 0,28) = 35,90 \text{ м.}$$

Контроль: $64,10 + 35,90 = 100$ м.

Значения расстояний l_1 , l_2 и отметка точки нулевых работ записываются на профиле синим цветом над линией условного горизонта.

Синие отметки. Отметку точки нулевых работ называют синей отметкой.

Эту отметку вычисляют дважды (для контроля) от двух соседних с ней точек:

$$H_0 = H_{\text{задн.пк}} + i \cdot l_1 \text{ и } H_0 = H_{\text{передн.пк}} + i \cdot l_2,$$

Где $H_{\text{задн.пк}}$ и $H_{\text{передн.пк}}$ – красные (проектные) отметки заднего и переднего пикетов соответственно;

i – проектный уклон на участке между пикетами;

l_1 – расстояние от заднего пикета до точки нулевых работ, м;

l_2 – расстояние от точки нулевых работ до переднего пикета, м.

Пример:

$$H_0 = H_{\text{пк0}} + i \cdot l_1 = 167,78 + (-0,020) \cdot 64,10 = 166,50;$$

$$H_0 = H_{\text{пк1}} + i \cdot l_2 = 165,78 + (-0,020) \cdot 35,80 = 166,50.$$

В графу «Отметки оси проезжей части» синей тушью записывают синюю отметку. На профиле над точкой нулевых работ ставят нуль и вычерчивают синей тушью перпендикуляр, опущенный из этой точки на линию условного горизонта.

Построение поперечника

Поперечники строят в одном масштабе, чаще всего в масштабе, принятом для вертикальных расстояний продольного профиля. Поперечники вычерчивают на отдельном листе.

На поперечном профиле показываются расстояния от пикета влево и вправо, отметки точек поперечника и линия земной поверхности.



Рисунок 19 – Схема для построения поперечника

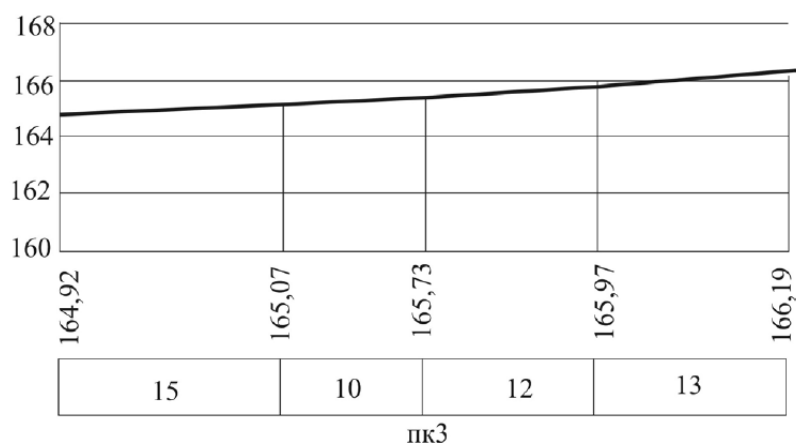


Рисунок 20 – Общий вид поперечника на ПК3

Оформление профиля

Окончательное оформление профиля выполняется в цвете капиллярными ручками или тушью.

Все проектные данные (проектная линия, рабочие отметки, уклоны, проектные отметки, линия в графе «Прямые и кривые») выполняются красным цветом.

Точки нулевых работ и относящиеся к ним расстояния и отметки выполняются синим цветом.

Все остальные элементы продольного профиля и поперечники выполняются черным цветом.

Площадь насыпи показывается желтым цветом, а выемки – красным. Можно цветным карандашом.

Задание 2 Расчет объемов земляных работ

Основой для составления проекта вертикальной планировки служат топографические планы местности в масштабах 1:1000 – 1:500, полученные в результате нивелирования по квадратам.

Вертикальная планировка под горизонтальную площадку предусматривает соблюдение нулевого баланса земляных работ, т.е. равенство грунта по выемке и насыпи. Для решения задачи используют фактические отметки вершин квадратов.

Объемы земляных работ подсчитывают на основании рабочих отметок вершин квадратов, отдельно по выемке и насыпи. Данные отметки получают в результате проведения работ нивелирования по квадратам.

При составлении проекта вертикальной планировки на основе нивелирования по квадратам, обычно используют способ призм. При этом объем насыпи и выемки приравнивают к объему призмы, с основанием в виде треугольника, квадрата, трапеции и высотой равной средней рабочей отметке фигуры.

$$V_{\text{квадрата}} = \frac{\sum h_{\text{раб.}}}{4} * S, \text{ где } S - \text{площадь основания призмы (квадрата).}$$

В смещенных квадратах, которые пересекает линия проектных работ, части квадрата обычно делят на треугольники и объем каждой трехгранной призмы находят как:

$$V_{\text{тр.}} = \frac{\sum h_{\text{раб.}}}{3} * S, \text{ при этом в подсчет средних рабочих отметок, в число}$$

точек включают и нулевые точки.

Выполнение работы.

1. Рассчитываем проектную отметку.

Условие нулевого баланса земляных работ обеспечивается созданием горизонтальной площадки с проектной отметкой:

$$H_{\text{пр}} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 4\sum H_4}{4n}$$

где ΣH_1 – сумма фактических отметок, входящих в один квадрат;
 ΣH_2 – сумма фактических отметок, общих для двух квадратов;
 ΣH_4 – сумма фактических отметок, общих для четырех квадратов;
 n – количество квадратов.

Для облегчения расчетов вычисления проектной отметки, удобнее выполнять по следующей формуле:

$$H_{пр} = H_0 + \frac{\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 4\Sigma h_4}{4n}$$

где H_0 - минимальное значение отметки вершины квадрата, округленное до метров.

$$h_1 = H_1 - H_0, \quad h_2 = H_2 - H_0, \quad h_4 = H_4 - H_0$$

Таблица 15 – Проектные отметки вершин квадрата

№ п/п	h_1 , м	h_2 , м	h_4 , м
1	1,48	2,05	0,93
2	3,00	3,18	1,03
3	3,53	2,49	2,15
4	2,00	2,98	1,23
5		2,78	1,43
6		3,00	2,01
7		3,01	2,15
8		2,93	2,18
9		2,02	2,98
10		2,10	
11		1,40	
12		1,12	
Σ	10,01	29,06	16,09
$H_{пр} = H_0 + \frac{\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 4\Sigma h_4}{4n} = 14 + \frac{10,01 + 2 \cdot 29,06 + 4 \cdot 16,09}{64} = 16,07 \text{ м}$			

2. По проектной отметке $H_{пр}$ и фактическим значениям отметок вершин квадрата рассчитываем рабочие отметки:

$$H_{раб} = H_{пр} - H_i$$

H_i – фактическая отметка вершины квадрата

$$h_1^{раб.} = H_{пр.} - H_1$$

$$h_2^{\text{раб.}} = H_{\text{пр.}} - H_2$$

$$h_n^{\text{раб.}} = H_{\text{пр.}} - H_n$$

Таблица 16 – Расчет рабочих отметок

№ точек	Н _і , м	h _{раб.} , м	№ точек	Н _і , м	h _{раб.} , м	№ точек	Н _і , м	h _{раб.} , м
1а	15,48	+0,59	3а	17,18	-1,11	5а	17,00	-0,93
1б	15,12	+0,95	3б	15,03	+1,04	5б	16,98	-0,91
1в	15,40	+0,67	3в	15,43	+0,64	5в	16,78	-0,71
1г	16,10	-0,03	3г	16,18	-0,11	5г	17,00	-0,93
1д	16,00	+0,07	3д	16,93	-0,86	5а	17,53	-1,46
2а	16,05	+0,02	4а	16,49	-0,42	$h_{(+)}^{\text{раб.}} = 6,07 \text{ м}$ $h_{(-)}^{\text{раб.}} = -9,48 \text{ м}$ $h_{(\pm)}^{\text{раб.}} = -3,41 \text{ м}$		
2б	14,93	+1,14	4б	16,15	-0,08			
2в	15,23	+0,84	4в	16,01	+0,06			
2г	16,15	-0,08	4г	16,98	-0,91			
2д	16,02	+0,05	4д	17,01	-0,94			

Рабочие отметки полученные со знаком «+» - насыпь, а со знаком « - » - это выемка грунта.

3. После расчета рабочих отметок они выписываются на план вертикальной планировки возле каждой вершины квадрата.

4. Вычисляем расстояния от точки нулевых работ до сторон квадрата (сторона квадрата d= 40 мм.):

$$l_1 = \frac{h_1^{\text{раб.}}}{h_1^{\text{раб.}} + h_2^{\text{раб.}}} * d$$

$$l_2 = \frac{h_2^{\text{раб.}}}{h_1^{\text{раб.}} + h_2^{\text{раб.}}} * d$$

Контроль: $l_1 + l_2 = d = 40 \text{ мм.}$

Таблица 17 – Расчет расстояния до точек нулевых работ

Сторона квадрата	Рабочие отметки, м		Расстояние до вершин квадрата, мм	
	+h	-h	+	-
1в-1г	+0,67	-0,03	38	2
2в-2г	+0,84	-0,08	37	3
3в-3г	+0,64	-0,11	34	6
4в-4г	+0,06	-0,91	2	38
4в-5в	+0,06	-0,71	3	37
4в-4б	+0,06	-0,08	17	23
3б-4б	+1,04	-0,08	37	3
3б-3а	+1,04	-1,11	19	21
3а-2а	+0,02	-1,11	1	39
1г-1д	+0,07	-0,03	28	12
2г-2д	+0,05	-0,08	15	25
2д-3д	+0,05	-0,86	2	38

5. Вычисляем средние рабочие отметки $h_{\text{ср.}}$ по количеству сторон фигуры:

$$h_{\text{ср.}} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n}, \text{ где}$$

n – количество сторон фигуры. Где проходит линия нулевых работ, там отметка $h_{\text{раб.}}$ будет равна нулю ($=0$).

6. Вычисляем площади фигур по формулам:

$$\text{Площадь квадрата: } S_{\text{кв.}} = a^2$$

$$\text{Площадь треугольника: } S_{\text{тр.}} = \frac{1}{2} * a * h$$

$$\text{Площадь трапеции: } S_{\text{трап.}} = \frac{1}{2} * (a + b) * h$$

7. Вычисляем объемы каждой фигуры по следующей формуле:

$$V = S_{\text{фигуры}} * h_{\text{ср.}}$$

Таблица 18 – Расчет объема земляных работ

Насыпь (+)				Выемка (-)			
№ фигур	$h_{\text{ср}}^{\text{раб}}$	Площадь, $S_{\text{н}}, \text{м}^2$	Объем, $V_{\text{н}}, \text{м}^3$	№ фигур	$h_{\text{ср}}^{\text{раб}}$	Площадь, $S_{\text{в}}, \text{м}^2$	Объем, $V_{\text{в}},$ м^3
1	0,675	1600	1080	1	0,377	409,138	154,245
2	0,828	1189,781	985,139	2	0,322	1248,5	402,017
3	0,347	351,161	121,853	3	0,585	1600	936
4	0,900	1600	1440	4	0,027	34,074	0,92
5	0,915	1600	1464	5	0,340	1574,5	735,33
6	0,348	1565,5	544,794	6	0,028	98,214	2,75
7	0,02	25,5	0,51	7	0,048	176,25	8,64
8	0,378	1498,016	566,25	8	0,255	880	224,4
9	0,370	1420	525,4	9	0,51	1597	914,47
10	0,175	720	126	10	0,028	740	20,72
11	0,03	860	25,8	11	0,21	1585	432,85
12	0,017	14,706	0,25	12	0,705	1600	1128
				13	1,06	1600	1696
ИТОГО		12444,665	6879,996			13142,676	6656,342

8. Проводим контроль вычислений.

$$S_{\text{уч}} = S_{\text{н}} + S_{\text{в}}$$

$$\Delta V = \Sigma V_{\text{н}} - \Sigma V_{\text{в}}$$

$$V = \Sigma V_{\text{н}} + \Sigma V_{\text{в}}$$

$$S_{\text{уч}} = S_{\text{н}} + S_{\text{в}} = 12444,665 + 13142,676 = 25587,342 \text{ м}^2$$

$$\Delta V = \Sigma V_{\text{н}} - \Sigma V_{\text{в}} = 6879,996 - (-6656,342) = 13536,34 \text{ м}^3$$

$$V = \Sigma V_{\text{н}} + \Sigma V_{\text{в}} = 6879,996 + (-6656,342) = 223,654 \text{ м}^3$$

9. Определяем разницу между объемом выемки и насыпи и сравниваем с допустимым значением (допуск не более 2%).

$$\frac{\Delta V}{V} 100\%$$

$$\Delta V_{\text{доп}} \leq 2\%$$

$$\frac{V}{\Delta V} 100\% = 223,654 / 13536,34 * 100\% = 1,65\%$$

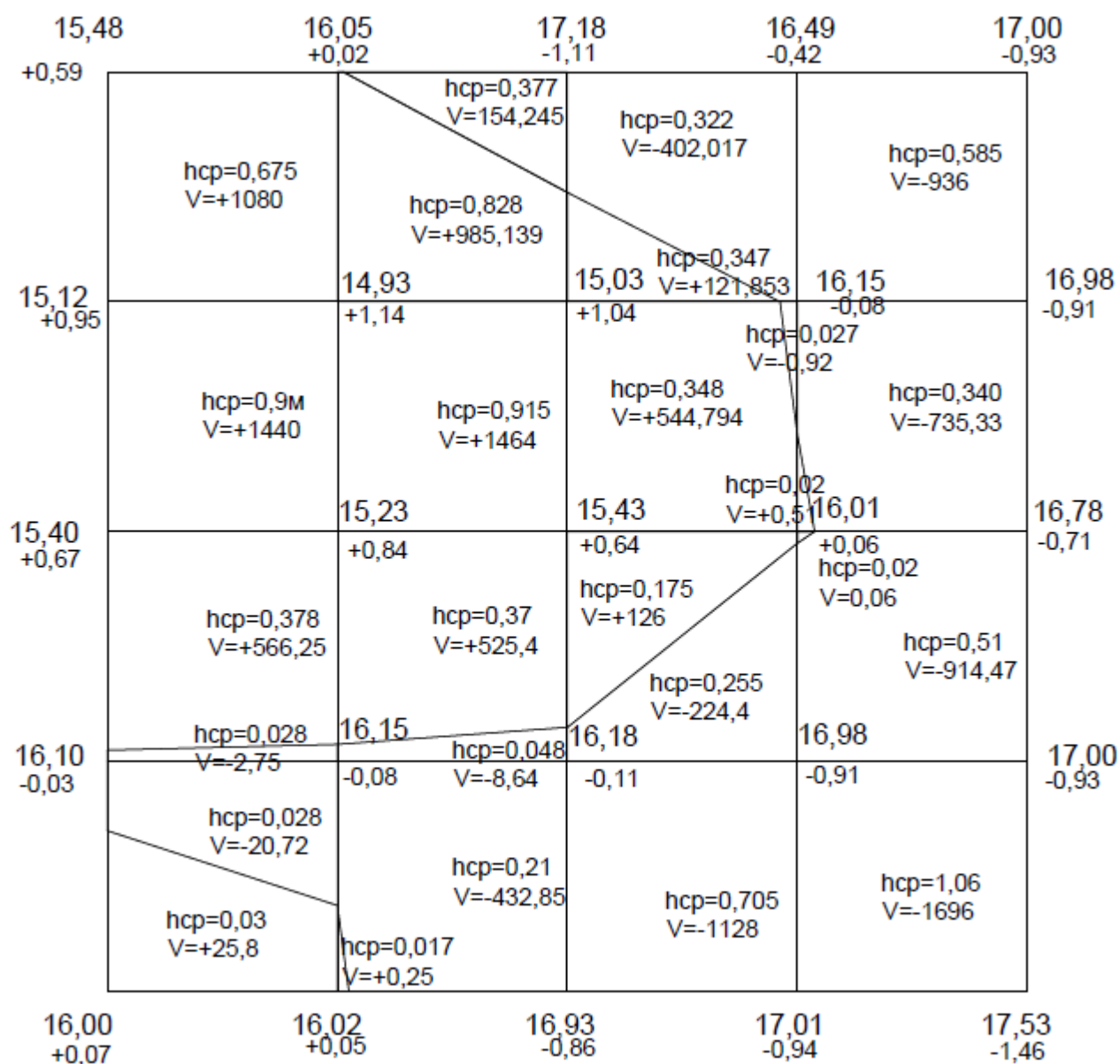


Рисунок 21 – Образец оформления работы

Варианты исходных данных представлены ниже.

Вариант 1

	15,48	16,05	17,18	16,49	17,00
15,12		14,93	15,03	16,15	16,98
15,40		15,23	15,43	16,01	16,78
16,00		16,02	16,93	17,01	17,53

Вариант 2

16,56	17,18	17,36	18,02	17,20
17,19	16,73	17,25	18,08	19,12
18,01	16,88	17,01	18,02	17,95
18,48	17,90	16,93	19,01	17,53

Вариант 3

18,48	19,95	17,18	19,19	18,00
18,12	17,93	16,53	19,15	18,08
17,10	16,85	17,18	18,08	18,00
16,56	17,22	17,93	18,01	17,53

Вариант 4

18,48	17,90	17,98	19,49	18,00
18,22	16,93	16,83	19,15	18,18
17,20	16,73	17,25	18,08	18,08
17,00	17,82	18,03	19,01	17,83

Вариант 5

16,56	17,18	17,19	18,02	17,20
17,19	16,73	17,25	18,08	19,10
18,20	17,02	16,55	19,01	18,83
18,48	17,90	17,01	19,10	18,08

Вариант 6

10,08	11,23	10,00	12,10	11,83
11,02	10,86	11,00	11,93	12,05
12,37	13,46	11,00	12,43	11,97
12,43	13,00	13,05	13,43	13,50

Вариант 7

16,48	17,05	18,18	17,49	18,00
16,12	15,93	16,03	17,15	17,98
16,40	16,23	16,43	17,01	17,78
17,00	17,02	17,93	18,01	18,53

Вариант 8

18,48	18,05	19,18	18,49	19,00
17,12	16,93	17,03	18,15	18,98
18,10	18,15	18,18	18,98	19,00
18,00	18,02	18,93	19,01	19,53

Вариант 9

25,48	26,05	27,18	26,49	27,00
25,12	24,93	25,03	26,15	26,98
25,40	25,23	25,43	26,01	26,78
26,00	26,02	26,93	27,01	27,53

Вариант 10

35,08	36,45	37,38	36,79	37,30
35,12	34,93	35,03	36,15	36,98
36,30	36,25	36,38	37,18	37,20
36,20	36,22	37,13	37,21	37,73

Вариант 11

20,43	21,18	20,98	20,20	20,20
18,18	19,40	18,93	19,02	19,03
21,00	21,05	20,43	20,98	20,18
20,18	20,93	20,43	21,18	22,00

Вариант 12

18,92	20,00	20,43	19,18	19,00
18,01	19,63	20,01	19,63	18,98
17,01	17,93	17,18	16,97	16,43
16,05	15,96	15,95	16,98	17,01

Вариант 13

16,05	17,48	18,93	19,03	20,00
17,01	19,63	20,01	19,63	18,98
17,96	18,01	17,63	18,48	18,05
18,92	20,00	20,43	19,18	19,10

Вариант 14

11,43	12,00	12,05	12,43	12,50
10,73	11,06	11,98	11,01	11,00
11,02	10,86	11,00	11,93	12,05
10,08	11,23	10,00	12,10	11,83

Вариант 15

16,97	16,12	15,99	17,00	18,12
16,97	17,14	15,93	15,98	16,12
16,76	16,02	15,92	15,08	16,10
16,06	16,01	15,43	15,01	15,10

Вариант 16

14,45	14,97	15,20	15,18	16,80
14,43	15,18	16,21	16,43	16,20
15,08	14,97	16,17	17,20	17,43
16,97	16,12	15,93	17,01	18,12

Вариант 17

15,66	16,05	15,57	16,00	16,00
16,12	16,43	16,03	16,15	16,98
16,40	17,23	17,43	17,01	16,78
17,00	17,20	17,10	17,01	16,23

Вариант 18

15,66	16,05	15,57	16,00	16,00
16,05	16,43	16,01	16,12	16,52
16,83	16,23	17,18	16,48	16,09
17,00	17,20	17,10	17,00	16,23

Вариант 19

18,97	18,02	18,43	19,00	19,53
18,43	17,99	18,03	19,43	20,01
19,05	19,48	20,03	21,05	21,02
20,48	20,03	21,09	21,93	22,02

Вариант 20

18,08	19,35	20,48	19,86	20,38
18,43	17,93	18,73	19,15	20,98
19,43	19,56	19,98	20,02	21,00
19,05	19,32	19,93	20,01	20,53

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В лабораторном практикуме изложен порядок выполнения лабораторных работ по решению геодезических задач для обучающихся направления подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры.

В лабораторном практикуме подробно описаны способы определения координат пунктов различными видами засечек, решение теодолитных ходов, определение недоступного расстояния, а также инженерно-геодезических задач, решаемых по топографическим картам и планам, при проектировании трассы линейных сооружений, геодезической подготовке к перенесению на местность элементов проекта здания, выносе и закреплении на строительной площадке проектных отметок, линий и плоскостей, а также пошагово расписаны действия при выполнении расчетных работ.

Лабораторный практикум способствует:

- развитию у обучающихся способности к самостоятельному анализу учебной и нормативной литературы;
- формированию навыков, позволяющих им самостоятельно выполнять весь комплекс геодезических, съемочных и инженерно-геодезических задач, связанных с составлением проекта землеустройства, составления планово-картографических материалов;
- умению решать задачи по топографическим картам и планам;
- умению самостоятельно создавать съемочное обоснование для съемки ситуации и перенесения в натуру проектных данных.

Справочно- библиографический аппарат

- 1. Геодезия** [Электронный ресурс]: Учебник для вузов/ А.Г. Юнусов [и др.]. — Электрон. текстовые данные.— М.: Академический проект, 2020.— 409 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=109985>
- 2. Инженерная геодезия и геоинформатика.** Краткий курс : учебник / М. Я. Брынь, Е. С. Богомолова, В. А. Коугия, Б. А. Лёвин. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1831-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168805>
- 3. Определение координат дополнительных пунктов:** лабораторный практикум / Т.С. Тихонова, И.В. Ваганов, М-во с.-х. РФ, федеральное гос.бюджетное образов, учреждение высшего образов. «Пермский гос. аграрнотехнологич. ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. 53 с.
- 4. Поклад Г.Г.** Геодезия [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов/ Поклад Г.Г., Гриднев С.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: Академический проект, 2020.— 538 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=110090>
- 5. Практикум по геодезии** [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов/ Г.Г. Поклад [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Академический проект, 2020.— 486 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=110167>