

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Практикум для студентов
специальности 1-56 02 01 «Геодезия»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области горнодобывающей промышленности*

Минск
БНТУ
2019

УДК 624.131.3(076.5)

ББК 26.12я7

О-75

С о с т а в и т е л и:

Е. Ю. Мысливчик, О. Е. Гармаза

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра геодезии и картографии географического факультета

Белорусского государственного университета

(зав. кафедрой *А. П. Романкевич*)

главный геодезист ОАО ТРЕСТ № 15 «Спецстрой» *И. П. Шульга*

О-75 **Основы** инженерных изысканий : практикум для студентов специальности 1-56 02 01 «Геодезия» / сост.: Е. Ю. Мысливчик, О. Е. Гармаза. – Минск: БНТУ, 2019. – 43 с.
ISBN 978-985-583-062-8.

Практикум содержит общие методические указания, задания на лабораторную работу и пояснения по выполнению. При разработке издания учитывались требования к качеству подготовки специалистов, вытекающие из реальной действительности и научно-технического прогресса.

УДК 624.131.3(076.5)

ББК 26.12я7

ISBN 978-985-583-062-8

© Белорусский национальный
технический университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основы инженерных изысканий» освещает цель, виды и содержание инженерных изысканий, классификацию инженерных объектов, сооружений. Рассматривает инженерно-геодезическую основу изысканий, их классификацию и методы создания. Излагает требования к расположению и закреплению на местности пунктов инженерно-геодезических построений. Содержит информацию о системах координат в инженерно-геодезических работах, о составе и видах инженерных изысканий для строительства различных инженерных объектов, стадиях проектирования и точности изысканий, а также о составе документации, методах и технологиях изысканий. Рассматриваются особенности инженерно-геодезических построений, пути уменьшения искажений в них, особенности выполнения крупномасштабных инженерно-геодезических съемок. Задачей лабораторных работ является освоение методов построения инженерно-геодезических сетей, рассмотрение изысканий по видам изучаемых условий с последующим их учетом при проектировании и строительстве тех или иных сооружений.

Лабораторная работа № 1

ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ СТЕННЫХ ЗНАКОВ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Пункты планового обоснования инженерно-геодезических сетей закрепляются обычно знаками, имеющими особенности в конструкциях, местах расположения и способах использования. Так, насыщенность городских проездов подземными сетями, необходимость периодического ремонта и реконструкции улиц затрудняют закладку грунтовых знаков пунктов полигонометрии. Часто их закрепляют стенными знаками различных конструкций (рис. 1.1).

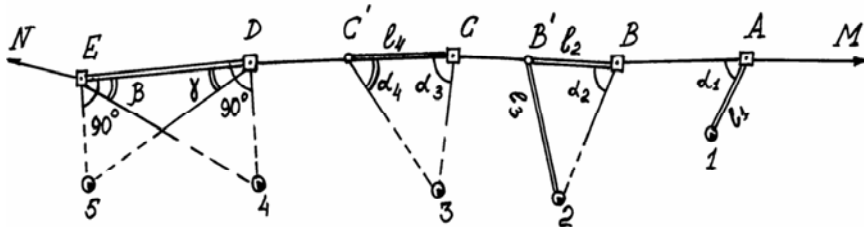


Рис. 1.1. Схема привязки стенных знаков

При этом возникает задача привязки полигонометрических ходов к этим знакам, так как непосредственное центрирование теодолита на знаке исключается – центры знаков расположены, как правило, на расстоянии 3–4 см от стены или цоколя здания.

Исходными данными для выполнения лабораторной работы служат координаты точек полигонометрического хода (табл. 1.1). Кроме того, на схеме указаны результаты угловых и линейных измерений, выполненных на точках хода для вычисления координат стенных знаков.

Таблица 1.1

Каталог координат пунктов полигонометрического
хода и элементы привязки стенных знаков

Название точек	Координаты, м		Элементы привязки	
	X	Y	Угловые	Линейные, м
A	16385,789	10285,594	$\alpha_1 = 44^\circ 33' 18''$	$l_1 = 2,725$
B	16311,658	10131,602	$\alpha_2 = 56^\circ 17' 18''$	$l_2 = 9,268$
C	16249,654	10027,765	$\alpha_3 = 85^\circ 14' 42''$	$l_3 = 8,864$
D	16167,690	9894,255	$\alpha_4 = 41^\circ 38' 30''$	$l_4 = 13,434$
E	16081,394	9792,002		

Для индивидуального выполнения лабораторной работы размеры отрезков изменяются в соответствии с формулой

$$l_i^k = l_{\text{исх}} + 10_{\text{мм}} k,$$

где k – номер варианта.

Аналогично значение углов β и γ при точках D и E определяются для каждого варианта по формулам:

$$\begin{aligned} \beta^k &= 0^\circ 17' 36'' + 10'' k, \\ \gamma^k &= 0^\circ 25' 41'' - 10'' k. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Используя данные табл. 1.1 и формулы (1.1), получают линейные элементы привязки стенных знаков к пунктам полигонометрии по своему варианту. Затем, применяя известные формулы для решения прямой геодезической задачи, следует вычислить координаты стенных знаков. При этом значения отрезков $B2$, $C3$, $D4$, $E5$ можно получить после решения соот-

ветствующих треугольников: $BB'2$, $CC'3$, $DE4$, $DE5$. Далее, применяя формулы для решения обратной геодезической задачи, должны быть получены длины линий и дирекционные углы между центрами стенных знаков. Их необходимо занести в каталог стенных знаков полигонометрии с указанием координат, длин линий (с точностью до миллиметров) и их дирекционных углов (с точностью до секунд).

Например, для стенного знака 3 решение выполняется в следующем порядке:

$$X_3 = X_C + \Delta X_{C3},$$

$$Y_3 = Y_C + \Delta Y_{C3};$$

$$\Delta X_{C3} = l_{C3} \cos \alpha_{C3},$$

$$\Delta Y_{C3} = l_{C3} \sin \alpha_{C3};$$

$$\alpha_{C3} = \alpha_{CD} - \alpha_3,$$

$$\alpha_{CD} = \operatorname{arctg} \frac{Y_D - Y_C}{X_D - X_C}.$$

Аналогично находятся координаты оставшихся стенных знаков полигонометрии.

Лабораторная работа № 2

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКИ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ

При проведении изысканий широкое применение находит угловая засечка. Она используется при определении планового положения точек геологических выработок, гидрометрических створов, буровых скважин; для привязки полигонометрических и теодолитных ходов; выноса в натуру осей зданий; для определения непрístupных расстояний, кренов и наклонов высотных сооружений, диаметров дымовых труб и резервуаров.

В случае привязки полигонометрических или теодолитных ходов к пунктам триангуляции, расположенным на зданиях, или в случаях, когда координаты пункта отнесены к выдающемуся местному предмету (шпиль здания, колокольня церкви и т. п.), не допускающему непосредственной установки теодолита над центром, возникает необходимость снесения координат на точку, расположенную на земле.

На рис. 2.1. представлена схема передачи координат вершины знака пункта триангуляции A на точку P .

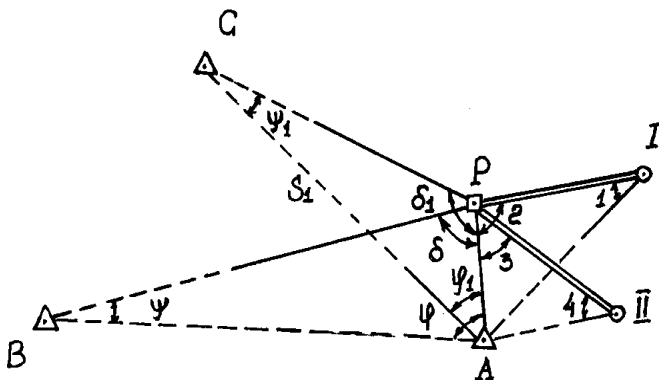


Рис. 2.1. Схема передачи координат

Исходными данными для выполнения работы служат координаты пунктов триангуляции A, B, C , а также результаты измерения базисов b_1 и b_2 , углов 1, 2, 3, 4 и δ .

Для решения этой задачи необходимо определить расстояние AP и дирекционный угол этой линии α_{AP} . Определение расстояния производится из двух треугольников API и $APII$, в которых измеряются базисы PI и PII и углы при них 1, 2 и 3, 4. Для определения дирекционного угла при точке P измеряется угол δ между направлениями на пункты A и B .

В целях контроля правильности определения положения (координат) снесенного центра P при нем должен быть измерен угол на второй пункт триангуляции C . В случае отсутствия видимости с земли на второй пункт необходимо измерить угол на пункт триангуляции B при другом конце одного из базисов (при точке I или II).

Для выполнения работы по вариантам каждый студент индивидуально определяет значения углов δ и δ_1 из соотношений:

$$\delta = 72^\circ 17' 42'' + k',$$

$$\delta_1 = 138^\circ 57' 42'' + 1,055k',$$

где k – номер варианта.

Последовательность выполнения работы

Из треугольников API и $APII$ вычисляются два значения сторон $AP = d$, и берется в дальнейших вычислениях среднее арифметическое значение.

Затем определяются вспомогательные углы φ и ψ :

$$\sin \psi = \frac{d_{\text{cp}} \sin \delta}{S_{AB}},$$

$$\varphi = 180 - (\psi + \delta).$$

Вычислив значение дирекционного угла α_{AP} через α_{AB} и φ и используя известные формулы для решения прямой геодезической задачи, находят приращение координат и координаты определяемого пункта P .

Для проверки вычислений из решения обратной геодезической задачи определяется дирекционный угол α_{PB} .

Разность дирекционных углов α_{PB} и α_{PA} должна дать измеренный угол δ , на основании которого производились вычисления координат точки P .

Расхождения измеренного и вычисленного значений угла δ не должно превышать $5''$.

В целях контроля правильности определения положения точки P (полевых измерений) определяется дирекционный угол α_{PC} . Разность дирекционных углов α_{PC} и α_{PA} должна дать измеренный угол δ_1 в пределах двойной точности измерения углов.

Все вычисления производятся в табл. 2.1–2.4.

Таблица 2.1

Вычисление расстояний

№ углов	Названия углов	Углы	Стороны, м
1	I	$38^{\circ}26'00''$	$b_1 = 532,24$
2	P	$70^{\circ}08'54''$	$d_1 =$
3	P	$87^{\circ}28'00''$	$b_2 = 396,75$
4	II	$42^{\circ}26'36''$	$d_2 =$

Таблица 2.2

Вычисление вспомогательных углов

d_{cp}		ψ	
Δ		$\Psi + \delta$	
S_{AB}		φ	

Таблица 2.3

Вычисление координат

α_{AB} α_{AP}	
X_P X_A	+ 7049,75
Y_A Y_P	+ 17 577,28

Таблица 2.4

Контроль вычислений и измерений

Y_B Y_P	+ 7125,68	Y_C Y_P	+ 14 428,51
X_B X_P	+ 5605,18	X_C X_P	+ 12 317,49
α_{PB} α_{PA}		α_{PC} α_{PA}	
$\delta_{выч.}$ $\delta_{исх.}$		$\delta_{1выч.}$ $\delta_{1исх.}$	

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Одной из наиболее важных характеристик водного потока является расход воды. *Расход* – это объем воды, протекающей через поперечное сечение водотока за единицу времени. Знание расхода воды необходимо при строительстве большинства инженерных сооружений.

В гидрологии имеется несколько способов для непосредственного измерения расходов воды. Его можно определить из вычислений на основе измеренных глубин и скоростей течения.

Наиболее распространенными способами вычисления расходов воды являются графоаналитический и графомеханический. Для вычисления расхода воды в реке воспользуемся данными таблицы, полученными из непосредственных измерений.

Последовательность выполнения работы

В удобном для построения горизонтальном и вертикальном масштабах строят водное сечение реки по расстояниям между промерными вертикалями и глубинам (табл. 3.1). Поперечный профиль дна изображают ломаной линией. В соответствующие графы профиля заносят значения измеренных скоростей и глубин.

На основании измеренных скоростей (в выбранном масштабе) над уровнем воды строится кривая средних скоростей, которая должна иметь форму плавной кривой.

Поскольку число скоростных вертикалей в водном сечении обычно меньше, чем число промерных, то, пользуясь построенной кривой, определяют значения скоростей для тех вертикалей, где были измерены только глубины. Их записывают в соответствующих местах графы скоростей в скобках, чтобы

было видно, что они получены по кривой средних скоростей, а не по непосредственным измерениям.

Пример оформления гидрометрического профиля представлен на рис. 3.1.

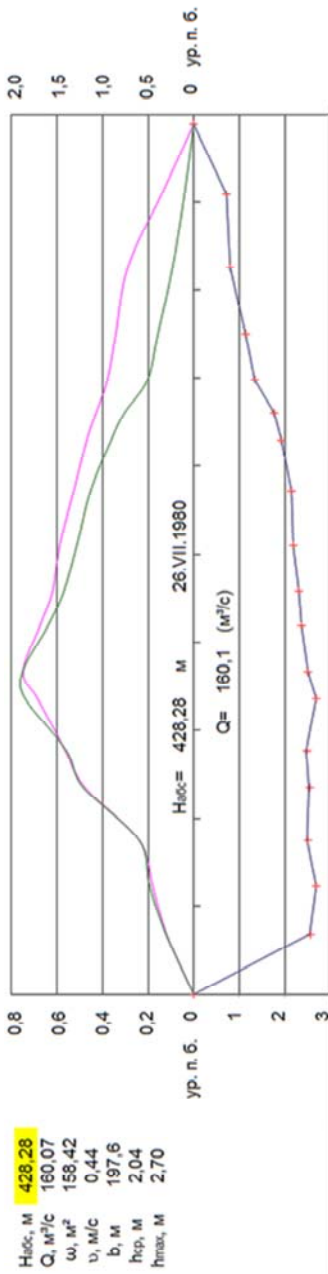
Таблица 3.1

Исходные данные

№ п/п промерных вертикалей	Расстояния между вертикалями, м	Глубина h , м	Скорость v , м/с
Урез лев. бер.		0,00	0,00
	13,7		
1		2,56	0,12
	10,8		
2		2,69	
	10,5		
3		2,50	0,24
	12,1		
4		2,54	0,48
	8,3		
5		2,48	
	11,7		
6		2,70	
	6,2		
7		2,51	0,75
	10,4		
8		2,37	

Окончание табл. 3.1

№ п/п промерных вертикалей	Расстояния между вертикалями, м	Глубина h , м	Скорость v , м/с
	7,9		
9		2,30	0,62
	10,3		
10		2,18	0,59
	12,6		
11		2,15	
	11,4		
12		1,93	0,47
	6,2		
13		1,77	
	7,3		
14		1,34	0,38
	10,6		
15		1,15	
	15,1		
16		0,80	0,29
	16,7		
17		0,72	
	15,8		
Урез пр. бер.			



На вертикали	промерных	сюростных	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX									
Глубина h, м	0.00	0.12	2.56	2.69	2.50	2.54	2.48	2.70	2.51	2.37	2.30	2.18	2.15	1.93	1.77	1.34	1.15	0.80	0.72	0.00
Скорость V, м/с	0.00	0.31	0.18	0.49	0.60	1.22	1.40	0.69	1.88	1.60	1.43	1.29	1.13	0.47	0.76	0.51	0.39	0.23	0.14	0.00
Элементарный расход q, м ³ /с	0.00	0.31	0.18	0.49	0.60	1.22	1.40	0.69	1.88	1.60	1.43	1.29	1.13	0.47	0.76	0.51	0.39	0.23	0.14	0.00
Расст. м-ду вертикалями, м																				
Расстояние от постоянного начала, м	0.00	13.70	24.50	35.00	47.10	55.40	67.10	73.30	83.70	91.60	101.90	114.50	125.90	132.10	139.40	150.00	165.10	181.80	197.60	
Частичные расходы, м ³ /с																				

Рис. 3.1. Гидрометрический профиль

Для всех промерных вертикалей вычисляют элементарные расходы q по формуле

$$q = hv, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Полученные значения записываются в соответствующей графе с удержанием второго знака после запятой.

Общий расход воды Q равен сумме частичных расходов:

$$Q = \sum \Delta Q = k_1 q_1 b_1 + \frac{q_1 + q_2}{2} b_2 + \dots + \frac{q_{n-1} + q_n}{2} b_n + k_2 q_n b_n, \text{ м}^3/\text{с},$$

где q_1, q_2, q_n – элементарные расходы, $\text{м}^2/\text{с}$;

b_1, b_2, b_n – расстояния между вертикалями, м;

k_1, k_2 – коэффициенты, зависящие от характера берега: $k = 0,7$ – для пологого берега; $k = 0,8$ – для обрывистого; $k = 0,9$ – для обрывистого с гладкой стенкой.

С учетом того, что скорости определены гидрометрической вертушкой с погрешностью 3–5 %, расход воды округляется до трех значащих цифр и выписывается на график.

Для составления гидрометрического профиля рекомендуются следующие масштабы:

горизонтальный – 1:1000;

глубин – 1:100;

скоростей – 1:20;

элементарных расходов – 1:50.

По номеру варианта N изменяем:

1) расстояния между промерными вертикалями

$$S_N = S_{\text{исх}} \pm 0,1N,$$

«+» – для нечетных расстояний;

«-» – для четных расстояний;

2) скорость течения

$$V_N = V_{\text{исх}} + 0,008N.$$

Лабораторная работа № 4

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЕКТА ТРИАНГУЛЯЦИИ

При развитии инженерно-геодезических сетей методом триангуляции наиболее типичными построениями являются цепи треугольников, центральные системы, вставки в треугольники и др. Для вычисления ожидаемой точности отдельных элементов построения применяются различные методы оценки проектов, зависящие, главным образом, от геометрических характеристик построения. Если геодезическое обоснование проектируется в качестве свободных сетей, то для уравнивания результатов измерений чаще всего применяется коррелятный метод, а оценку точности проектов производят путем составления уравнений для определения веса функций измеренных величин. При создании геодезического обоснования вставкой одного или нескольких пунктов в существующую сеть для уравнивания обычно применяют параметрический метод, а оценку точности проектов такой сети производят способом весовых коэффициентов.

Существуют строгие и приближенные методы оценки проектов. Результаты приближенной оценки близки результатам строгой оценки.

В лабораторной работе предлагается произвести оценку проекта вставки в сеть треугольников триангуляции 2-го класса одного пункта триангуляции 3-го класса и двух пунктов триангуляции 4-го класса способом последовательных приближений.

На рис. 4.1. представлена схема сети, в которой A, C, D, E – пункты триангуляции 2-го класса, B – пункт триангуляции 3-го класса и $1, 2$ – пункты триангуляции 4-го класса. Здесь же даны измеренные длины сторон в километрах, а исходные значения дирекционных углов направлений представлены в табл. 4.1.

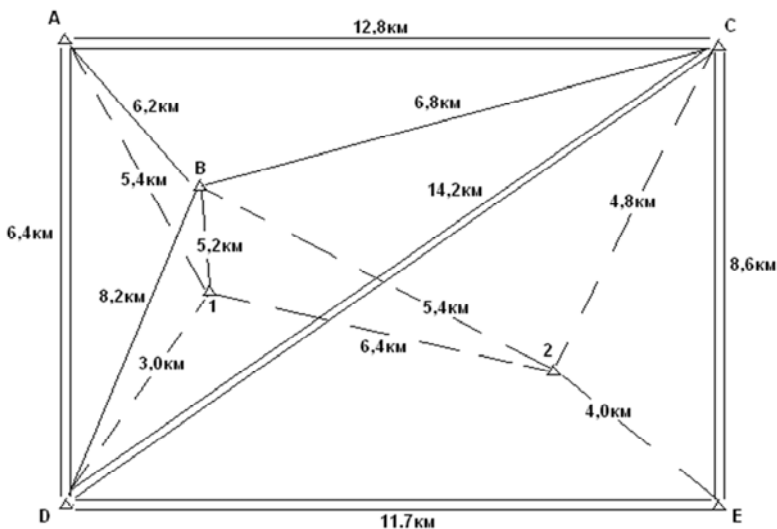


Рис. 4.1. Схема сети триангуляции

Таблица 4.1

Дирекционные углы направлений сети триангуляции

Наименование направления	Дирекционный угол направления	Наименование направления	Дирекционный угол направления
<i>A-B</i>	84°	<i>D-1</i>	42°
<i>A-1</i>	137°	<i>B-1</i>	208°
<i>C-B</i>	250°	<i>B-2</i>	115°
<i>C-2</i>	198°	<i>E-2</i>	345°
<i>D-B</i>	33°	<i>1-2</i>	85°

Каждый студент в соответствии с номером выданного ему варианта задания изменяет значение дирекционных углов на величину

$$\alpha = \alpha_{\text{исх.}} + 6^\circ * k,$$

где k – номер варианта.

Последовательность выполнения работы

Предварительно необходимо оценить положение пункта *B* триангуляции 3-го класса, определенного вставкой в треугольник триангуляции 2-го класса (рис. 4.2) по нижеприведенной формуле профессора К. Л. Проворова, приняв среднюю квадратическую погрешность измерения угла $m_\beta = 1,5''$, соответствующую триангуляции 3-го класса.

$$M = \frac{\mu_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{a^2 b^2 + a^2 c^2 + b^2 c^2 + a^2 S_\alpha^2 + b^2 S_\beta^2 + c^2 S_\gamma^2}{8(a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \sin^2 \beta + c^2 \sin^2 \gamma + ab \sin \alpha \sin \beta + bc \sin \beta \sin \gamma + ac \sin \alpha \sin \gamma)}}$$

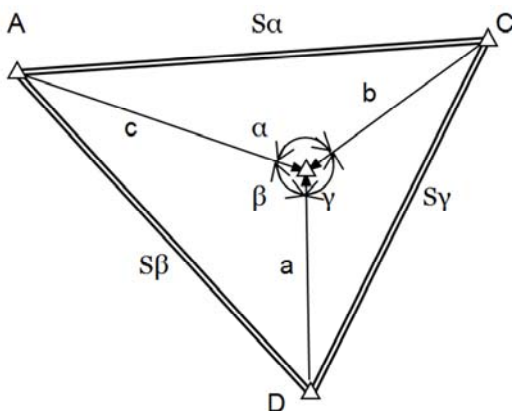


Рис. 4.2. Вставка в треугольник триангуляции 2-го класса

Величину ожидаемой погрешности положения пункта *M* следует получить в миллиметрах. Так как $M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$ и $m_x = m_y$, можно найти

$$m_x = m_y = \frac{M}{\sqrt{2}}. \tag{4.1}$$

Далее следует оценить положение пунктов 1 и 2 триангуляции 4-го класса относительно пунктов триангуляции старших классов способом последовательных приближений. Сначала вычисляются весовые характеристики по всем направлениям (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Весовые характеристики по направлениям

Наименование направления	Дирекционный угол, °	Длина стороны S , дм	a	b
A-1	149	54 000	-20,0	-3,3
B-1				
2-1				
D-1				
1-2				
B-2				
C-2				
E-2				

Суммарные ожидаемые средние квадратические погрешности положения пункта 1, с учетом всех направлений на этом пункте, подсчитываются в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Первое приближение

Наименование направления	X			Y		
	a	a^2	m_{xi}^2	b	b^2	m_{yi}^2
Определяемый пункт 1						
A-1	-2,0	4,00	1000	-3,3	10,89	0,3673
B-1						
2-1						
D-1						

$$\Sigma a^2 =$$

$$\Sigma b^2 =$$

В первом приближении ставится условие, что все пункты оцениваемой сети не имеют погрешностей в координатах. Ожидаемые погрешности определения пунктов по отдельным направлениям вычисляются по следующим формулам, причем средняя квадратическая погрешность измерения угла $m_{\beta} = 2,0''$ соответствует триангуляции 4-го класса:

$$a = -\frac{\rho \sin \alpha}{S},$$

$$b = \frac{\rho \cos \alpha}{S};$$

$$m_{x_i}^2 = \frac{m_{\beta}^2}{a_i^2},$$

$$m_{y_i}^2 = \frac{m_{\beta}^2}{b_i^2}.$$

Суммарные ожидаемые ошибки с учетом всех направлений вычисляются по следующим формулам:

$$M_x^2 = \frac{m_{\beta}^2}{2\sum a^2}, \quad M_y^2 = \frac{m_{\beta}^2}{2\sum b^2}.$$

Аналогичные вычисления выполняют для определяемого пункта 2, причем в обработку берутся направления: 1-2, B-2, C-2, E-2. Во втором и последующих приближениях учитываются ожидаемые погрешности определения координат пунктов из предыдущего приближения, а также погрешности m_x , m_y в положении пункта B, полученные по формуле (4.1). Эти вычисления можно свести в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Ожидаемые погрешности положения
с учетом погрешностей исходных данных

Назв. напр.	X				Y			
	m_x^2	m_x^2 (исх)	$(m_x^2)2\text{пр}$	A^2	m_y^2	m_y^2 (исх)	$(m_y^2)2\text{пр}$	B^2
Определяемый пункт 1								
A-1	1,0000	–	1,0000	4,0000	0,3673	–	0,3673	10,8903
B-1	0,6400	0,1089	0,7489	5,3412	0,4444	0,1089	0,5533	7,2294
2-1	Пример записи в таблице показывает, сколько знаков нужно удер-							
D-1	живать в вычислениях							

Процесс вычисления продолжается до тех пор, пока результаты последнего приближения не совпадают с результатами оценки в предыдущем приближении. Затем вычисляют ожидаемые ошибки M_1 и M_2 в положении пунктов 1 и 2 по следующим формулам:

$$M_1 = \sqrt{m_{x1}^2 + m_{y1}^2}, \quad M_2 = \sqrt{m_{x2}^2 + m_{y2}^2}.$$

В заключении следует определить ожидаемую погрешность m_{S1-2} слабой стороны сети триангуляции по формуле

$$M_{S_{1-2}} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

и относительную погрешность, которая сравнивается с допустимой ($\frac{m_S}{S} \leq \frac{1}{70\,000}$ для триангуляции 4-го класса).

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЕКТА ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Полигонометрия применяется для создания и сгущения геодезических сетей. Полигонометрию строят в виде отдельных ходов и систем ходов, опирающихся на исходные пункты. Надежность получения координат пунктов полигонометрии определяется оценкой составленного проекта.

Одним из наиболее простых методов оценки точности полигонометрических сетей является способ последовательных приближений, позволяющий найти ожидаемую среднюю квадратическую погрешность положения каждой узловой точки по отношению к группе соседних узловых точек, а не по отношению к исходным пунктам.

На рис. 5.1 представлен проект сети полигонометрии, состоящий из четырех частей, проложенных между пунктами триангуляции. Студенту необходимо оценить проект полигонометрической сети на примере одной части. Исходные данные по каждой сети даны в табл. 5.1.

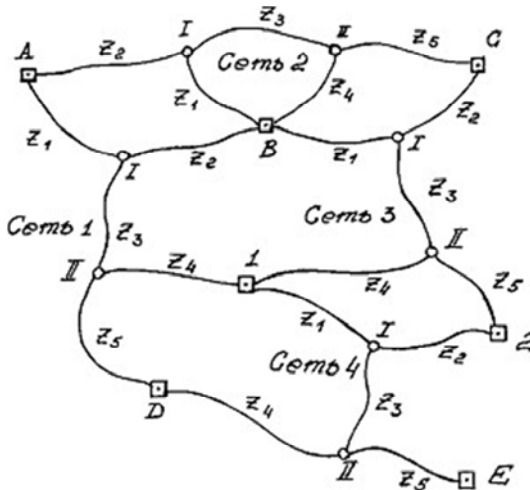


Рис. 5.1. Схема сети полигонометрии

Исходные данные

Наимен. ходов	Сеть 1		Сеть 2		Сеть 3		Сеть 4	
	n	$[S]$, км	n	$[S]$, км	n	$[S]$, км	n	$[S]$, км
Z_1	7	1,4	8	1,6	9	1,9	10	2,1
Z_2	8	1,6	9	2,1	10	2,2	11	2,5
Z_3	$2+k$	$0,2n$	$2+k$	$0,2n$	$2+k$	$0,2n$	$2+k$	$0,2n$
Z_4	10	2,0	11	2,3	15	3,4	13	3,0
Z_5	8	1,9	9	2,0	5	1,3	14	3,3

Для индивидуального выполнения лабораторной работы каждым студентом в ходе z изменяется количество линий хода на величину k , где k – номер варианта.

Последовательность выполнения работы

Оценку сети полигонометрии из пяти ходов с двумя узловыми точками выполняют в следующей последовательности:

1. По каждому ходу высчитывают ожидаемую среднюю квадратическую погрешность положения узловой точки M_1, M_2, \dots, M_5 по формуле

$$M^2 = m_S^2 n + \frac{m_B^2}{\rho^2} S^2 \frac{n+3}{12},$$

где $m_S^2 = 15\text{мм}$, $m_B^2 = 5''$.

Вычисления удобно производить в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Вычисление ожидаемой погрешности конечной точки ходов

№ ходов	$m_S^2 n$	$\frac{m_B^2}{\rho^2} S^2 \frac{n+3}{12}$	M_i^2	M_i	$\frac{M}{[S]}$	P_i
Z_1						
Z_2						
Z_3						
Z_4						
Z_5						

2. Веса определения положения узловых точки I по ходам принимаются равными и вычисляются по формуле

$$P_i = \frac{C}{M_{Z_i}^2},$$

где $C = 100\,000$.

Веса узловых точек получают по формулам:

$$P_I = P_1 + P_2 + P_3,$$

$$P_{II} = P_4 + P_5 + P_3.$$

3. Средние квадратические погрешности определения узловых точек I и II в первом приближении вычисляются следующим образом:

$$(M_I^2)_{1\text{пр}} = \frac{C}{P_I}, \quad (M_{II}^2)_{1\text{пр}} = \frac{C}{P_{II}}.$$

4. Во втором приближении учитывают погрешности исходных данных, т. е. погрешности положения узлов I и II, вычисленные по формулам в первом приближении. Следовательно, во втором и последующих приближениях изменится только вес хода z_3 . Вычисления выполняют в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Вычисление ожидаемых погрешностей узловых точек

№ хода	Второе приближение			
	M_i^2	$M_{\text{исх}}^2$	$M_{\text{общ}}^2$	P_i
Z_1				
Z_2				
Z_3				
Σ				
Z_3				
Z_4				
Z_5				
Σ				

$$(M_I^2)_{2\text{пр}} =$$

$$(M_{II}^2)_{2\text{пр}} =$$

5. В третьем приближении в качестве погрешностей исходных данных узловых точек I и II принимают их погрешности, полученные во втором приближении и так далее в последующих приближениях. Вычисления продолжают до тех пор, пока в двух последних приближениях погрешности не станут равными.

6. Вычисляют общие средние квадратические и предельные относительные погрешности каждого хода с учетом погрешности исходных данных:

$$M_{\text{хода}}^2 = M^2 + \frac{M_{\text{нач}}^2 + M_{\text{кон}}^2}{2},$$

$$\frac{2M_{\text{хода}}}{[S]} \leq \frac{1}{T},$$

где M – средняя квадратическая погрешность хода, обусловленная точностью измерения углов и линий в ходе;

$M_{\text{нач}}^2$ и $M_{\text{кон}}^2$ – средние квадратические погрешности начального и конечного пунктов хода;

$\frac{1}{T}$ – допустимое значение, установленное инструкцией для сетей полигонометрии.

Вычисления сводят в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Вычисление предельных относительных погрешностей ходов

№ хода	[S], км	M^2	$M_{\text{нач}}^2$	$M_{\text{кон}}^2$	$\frac{M_{\text{нач}}^2 + M_{\text{кон}}^2}{2}$	$M_{\text{хода}}^2$	M	T
Z_1	1,6	3179	0	1587	1259	4438	67	12 000
Z_2								
Z_3								
Z_4								
Z_5								

Лабораторная работа № 6

ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПУНКТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ СЕТКИ В ЧАСТНОЙ И ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ

Проектирование строительной сетки обычно осуществляется на генеральном плане. Координаты пунктов строительной сетки задают в частной системе координат, но, осуществляя привязку строительной сетки к пунктам государственной геодезической сети, возникает необходимость перерасчета координат из частной в геодезическую систему координат. Исходными данными для выполнения лабораторной работы являются топографическая карта масштаба 1:10 000, координаты исходных пунктов (табл. 6.1) и схемы строительной сетки (рис. 6.1).

СХЕМА 1

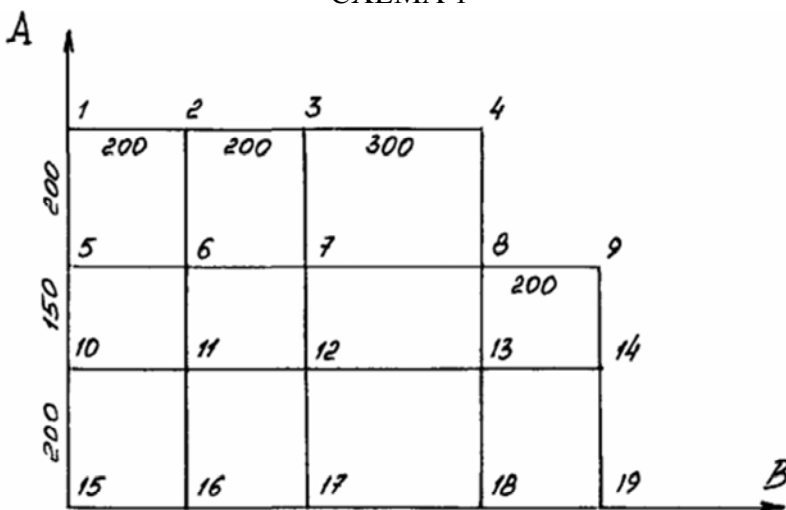


Рис. 6.1. Схемы строительной сетки (окончание см. на с. 28)

СХЕМА 2

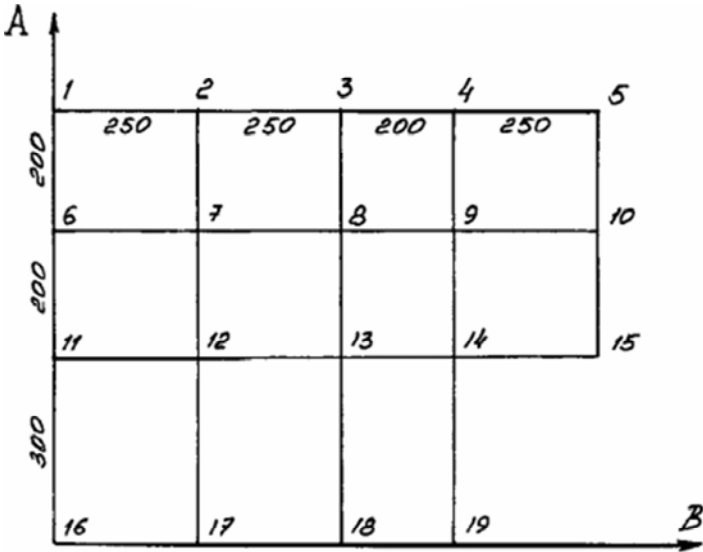


СХЕМА 3

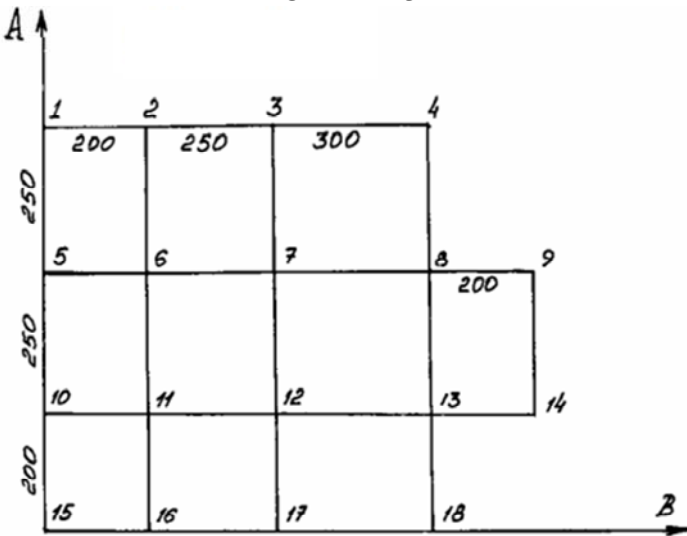


Рис. 6.1. Окончание (начало см. на с. 27)

Каталог координат исходных пунктов

Название пункта	Координаты, м	
	X	Y
Г. Малиновская	6 064 774,8	4 311 904,3
Точка O	6 064 442,0	4 312 458,0
Снов	6 064 380,2	4 313 572

Схема строительной сетки предлагается преподавателем. Согласно номеру варианта вычисляется значение угла разворота условной оси A относительно северного направления координатной сетки: $\theta = 315^{\circ}00' + 20'k$, где k – номер варианта.

Последовательность выполнения работы

На топографической карте необходимо запроектировать полигонометрический ход 1-го либо 2-го разряда между исходными пунктами, чтобы он обязательно проходил через точку O – начало частной системы координат строительной сетки. Координаты запроектированных пунктов определить по карте с точностью до целого метра, из решения обратной геодезической задачи вычислить дирекционные углы и горизонтальные проложения сторон хода и занести их в каталог обычной формы (табл. 6.2). Затем по известным длинам сторон (указаны на схемах) необходимо определить координаты пунктов строительной сетки в частной системе координат. Далее производят перевычисление координат из частной в геодезическую систему координат по формулам и сводят в табл. 6.3:

$$X = X_0 + A \cos \theta - B \sin \theta,$$

$$Y = Y_0 + A \sin \theta + B \cos \theta,$$

где X_0, Y_0 – геодезические координаты точки O .

Таблица 6.2

Каталог координат пунктов полигонометрии

№ точки	$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$	$S, \text{ м}$	α
Г. Малиновская ПП1	6 064 774,8	4 311 904,3		

Таблица 6.3

Каталог координат пунктов строительной сетки

№ пункта	$A, \text{ м}$	$B, \text{ м}$	$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$
1				
2				
...				
n				

Лабораторная работа № 7

КАМЕРАЛЬНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

В данной работе необходимо запроектировать трассу автомобильной дороги (категория дороги указывается преподавателем) способом построения линии заданного уклона, составить продольный профиль.

Дорожные трассы должны удачно вписываться в ландшафт местности, трассу желательно располагать на землях, не имеющих народнохозяйственной ценности. Проложение трассы в равнинных районах определяется контурными препятствиями, т. е. ситуацией. При проектировании трассы стараться обходить контуры и располагать вершины углов поворота приблизительно посередине контура или препятствия. В высотном отношении трассу ведут вольным ходом, т. е. проектную линию ведут по характерным точкам местности вдоль намеченного направления.

При трассировании автомобильных дорог руководствуются параметрами, приведенными в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Характеристики автомобильных дорог

Наименование	Категории дорог				
	I	II	III	IV	V
Наибольшие продольные уклоны, промилле	30	40	50	60	70
Наименьшие радиусы кривых в плане, м	1000	600	400	250	125
Наименьшие радиусы вертикальных кривых, м:	8000	5000	3000	2000	1500
– вогнутых	25 000	15 000	10 000	5000	2500
– выпуклых					

Последовательность выполнения работы

1. Построение линии «нулевых работ», т. е. линии равных уклонов.

Линия строится на топографической карте раствором циркуля, равным заложению вдоль воздушной линии трассы, причем можно построить несколько вариантов линии нулевых работ, которая обычно представляет собой весьма извилистую линию, поэтому ее спрямляют. При ее спрямлении необходимо помнить, что трассу ведут так, чтобы она огибала препятствия и вершины углов поворота располагались примерно посередине препятствий. Окончательный вариант трассы оформляется красным цветом на топографической карте.

2. Контроль уклонов по прямолинейным участкам трассы.

Уклоны подсчитывают для каждого участка по известной формуле и сравнивают с величиной допустимого уклона по заданной категории автодороги. Например, для первого участка от точки А (начало трассы) до вершины угла 1 (ВУ1)

уклон равен $i_1 = \frac{H_{ВУ1} - H_A}{S_{А - ВУ1}}$, отметки точек и расстояние

между ними (на местности) определяют по карте. Уклоны по участкам должны быть меньше допустимого значения по проектируемой категории автомобильной дороги.

3. Определение углов поворота, выбор радиусов круговых кривых и подсчет основных элементов кривых.

Угол поворота θ образуется продолжением предыдущего и нового направлений трассы. Углы поворота на карте можно измерить транспортиром с точностью $0,5^\circ$.

Радиусы круговых кривых выбирают в соответствии с категорией автодороги (R/R_{\min}), причем желательно иметь такой радиус, чтобы кривая на карте не накладывалась на контуры (что повлечет за собой вырубку лесов, садов, снос жилых домов и т. д.).

По величине угла поворота трассы θ и радиусу кривой R , длина которого назначается в зависимости от местных усло-

вий и технической категории дороги, определяют основные элементы круговой кривой:

- тангенс Т (расстояние от ВУ до начала или конца кривой);
- кривую К (длина дуги, вписываемая между прямыми соседними участками трассы);
- домер Д (разница между суммой двух тангенсов и длиной кривой);
- биссектрису Б (расстояние от вершины угла до середины кривой). Основные элементы вычисляют по формулам или по таблицам Митина. Их вычисление производят с точностью до целого сантиметра.

4. Определение пикетажных значений главных точек кривых и составление ведомости углов поворота, прямых и кривых.

Прежде всего необходимо определить пикетажные значения вершин углов поворота, используя расстояния от начала трассы до первой вершины, между вершинами и от последней вершины до конечной точки трассы:

$$\text{ПКВУ1} = \frac{s_A - \text{ВУ1}}{100};$$

$$\text{ПКВУ1} = \frac{1250,00}{100} = \text{ПК12} + 50,00,$$

$$\text{ПКВУ2} = \frac{s_A - \text{ВУ1} + s_{\text{ВУ1} - \text{ВУ2}} - D_1}{100}.$$

Вычисление пикетажных значений главных точек кривых (начал, середин и концов круговых кривых) производят по следующим формулам:

$$\text{ПКНК} = \text{ПКВУ} - T;$$

$$\text{ПКСК} = \text{ПКНК} + \frac{1}{2}K;$$

$$\text{ПККК} = \text{ПКНК} + K.$$

Выполняем контроль по нижеприведенным формулам:

$$\text{ПКСК} = \text{ПККК} - \frac{1}{2}K;$$

$$\text{ПККК} = \text{ПКВУ} + T - Д.$$

Пикетажные значения принято вычислять в столбик, например:

$$\begin{array}{r} \text{ПК ВУ} \dots\dots \text{ПК12} + 50,00 \\ - T \dots\dots\dots 3\ 26,29 \\ \hline \text{ПК НК} \dots\dots \text{ПК 9} + 23,71 \\ + K \dots\dots\dots 5\ 63,08 \\ \hline \text{ПК КК} \dots\dots \text{ПК14} + 86,79 \\ \text{ПК НК} \dots\dots \text{ПК 9} + 23,71 \\ + 1/2K \dots\dots\dots 2\ 81,54 \\ \hline \text{ПК СК} \dots\dots \text{ПК12} + 04,25 \end{array}$$

Таким же образом контролируем правильность вычисления пикетажных значений главных точек кривых. Затем составляется ведомость (табл. 7.2) и выполняется контроль по следующим формулам:

$$2\Sigma T - \Sigma K = \Sigma Д;$$

$$L_{\text{ГР}} = \Sigma П + \Sigma K = \Sigma S - \Sigma Д.$$

Таблица 7.2

Ведомость углов поворота, прямых и кривых

№ точ- ки	Углы поворота		Основные эле- менты круговых кривых, м					Пике- тажные значения		Расстояние между верш. S, м	Прям. вставка П, м
	Пикетаж ВУ	θ	R	T	K	Б	Д	НК	КК		
A 1											
N B											
Σ				ΣT	ΣK		$\Sigma Д$			ΣS	$\Sigma П$

5. Разбивка пикетажа по трассе, построение кривых по главным точкам кривых.

Пикетаж разбивается от начала трассы (точка А соответствует нулевому пикету ПК О), через интервалы на местности, равные 100 м. При разбивке пикетов после вершины круговой кривой учитывается величина домера Д. Разбивка пикетажа по трассе выполняется на ксерокопии участка топографической карты.

6. Составление продольного профиля трассы автодороги.

Продольный профиль строится по всей трассе на миллиметровой бумаге. Масштаб горизонтальный составляет 1:5000, масштаб вертикальный – 1:500 (или крупнее). Пример продольного профиля представлен на рис. 7.1.

Продольный профиль составляют на миллиметровой бумаге. Составление начинают с вычерчивания его сетки согласно установленному образцу для данного вида сооружений.

Первой заполняют графу 4. В ней вертикальными отрезками обозначают пикеты, а их номера подписывают ниже. Между пикетами отмечают плюсовые точки и подписывают расстояния между ними (заполняется черным цветом).

В графу 3 заносят отметки земли (фактические отметки) пикетов и плюсовых точек, которые определяют по карте путем интерполирования по горизонталям с точностью до 0,01 м (заполняется черным цветом).

В графе 6 показывают условный план трассы. Начало и конец каждой кривой отмечают вертикальной чертой по их пикетажным значениям. Кривые участки изображают условными дугами, выпуклостью вниз при повороте трассы влево и выпуклостью вверх при повороте вправо, здесь же указывают значения θ , R и К. Для прямых вставок указывают их длину и азимут (румб).

По середине графы 7 горизонтальной линией отображают трассу, а вершины углов поворота отмечают стрелками. Затем сюда же переносят ситуацию вдоль трассы с топографической карты (заполняется черным цветом).

ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ТРАССЫ АВТОДОРОГИ

Р16 №=125,099
ЛК10+35,0
П31,5

Масштаб: горизонтальный 1:5000
вертикальный 1:500

Р17 №=131,182
ЛК0+15,0
Л63,7

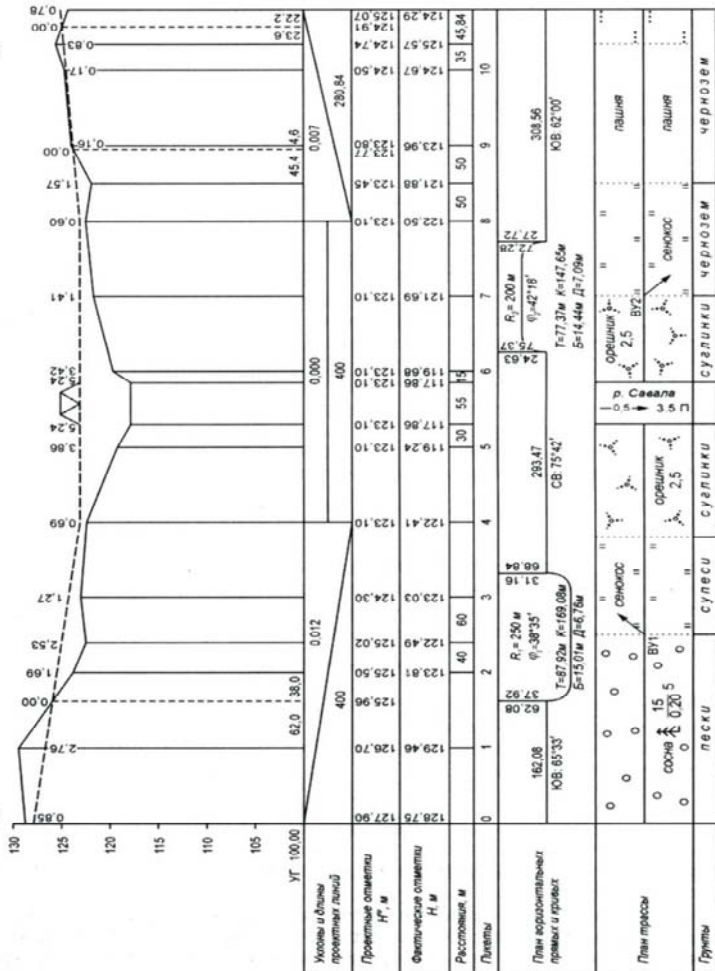


Рис. 7.1. Продольный профиль трассы

При построении профиля земли на вертикалях (пикеты, плюсовые точки) отмечают точки, соответствующие отметкам земли в принятом вертикальном масштабе. Отметку условного горизонта (линии АВ) выбирают так, чтобы линия профиля размещалась выше ее на 5–10 см.

При выборе проектного профиля линейного сооружения руководствуются определенными техническими условиями. Например, если проектный продольный профиль автомобильной дороги должен проходить через заданные точки в местах примыкания к существующим дорогам, мостам, то должна предусматриваться насыпь для предотвращения дороги от затопления на низменных участках и снеговых заносов на других участках. При резко пересеченном рельефе линию проектного продольного профиля предусматривают в выемках на местах возвышений и на насыпях над понижениями земной поверхности, при этом стремятся к минимальным объемам работ по выемке грунта и строительству насыпей.

Нанесение на профиль проектной линии начинают от ПК0 с заданной отметкой. Для этого намечают конечную точку участка с постоянным уклоном.

В графе *I* вертикальными отрезками отмечают начало и конец каждого участка постоянного уклона, а диагональю – направление уклона (заполняется красным цветом). Под диагональю указывают длину участка, а над ней – окончательный уклон.

Предварительный уклон подсчитывают по формуле

$$i^1 = \frac{H_K^1 - H_{НАЧ}}{S},$$

полученное значение уклона округляют до целых промилле и записывают в графу *I*.

Окончательная (проектная) отметка конца участка вычисляется по формуле

$$H_K = H_{\text{НАЧ}} + is_i,$$

а проектные отметки промежуточных точек данного участка – по формуле

$$H_i = H_{\text{НАЧ}} + is_i. \quad (7.1)$$

Вычисленные проектные отметки заносят в графу 2 продольного профиля (красным цветом). Далее вычисляют рабочие отметки как разности проектных отметок и отметок земли для каждой точки трассы. Над линией проектного профиля записывают положительные рабочие отметки (высоты насыпи), под линией профиля – отрицательные (глубины выемки), но без знака минус.

Точки нулевых работ находятся в местах, где проектный профиль пересекается с линией земли. Их рабочие отметки равны нулю. Местоположение точек нулевых работ прочерчивают вертикальными штриховыми линиями. Для них вычисляют расстояния до ближайших пикетных или плюсовых точек и записывают синим цветом. Отметки точек нулевых работ определяют по формуле (7.1) и записывают в соответствующие графы.

Построение на профиле переходных и вертикальных кривых не предусматривается.

Лабораторная работа № 8

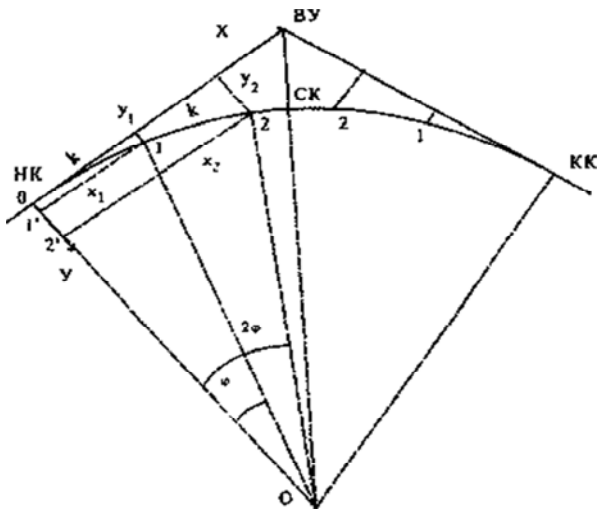
ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРУГОВЫХ КРИВЫХ

Предлагается выполнить детальную разбивку кривых тремя способами:

- способом прямоугольных координат;
- способом углов;
- еще одним (по собственному выбору).

Исходными данными являются круговые кривые, запроектированные по трассе автомобильной дороге в предыдущей лабораторной работе. Интервал детальная разбивки кривой выбирается в зависимости от ее радиуса (5, 10 или 20 м).

Если круговая кривая имеет большую длину (очень много разбивочных точек), то в учебных целях можно выполнить разбивку через 50 м. Для каждой круговой кривой необходимо вычислить элементы разбивки (формулы для их определения приведены в опорном конспекте лекций ранее) и составить разбивочные чертежи на миллиметровой бумаге (рис. 8.1). Масштаб разбивочных чертежей выбирается для каждой кривой лично студентом (рекомендуется – 1:3000 и крупнее).



№ п/п	k_i , м	φ_i , °	Элементы разбивки	
			x , м	y , м
НК				
1	37,65	2,787	37,66	0,95
2	87,65	6,699	87,49	5,12
3	137,65	10,521	136,75	12,81
4	187,65	14,343	185,79	23,38
5	237,65	18,165	233,81	37,38
6	287,65	21,987	280,80	54,55
7	337,65	25,809	526,53	74,81
КК				
7	296,89	22,694	282,63	58,07
8	246,89	18,875	242,63	40,33
9	196,89	15,050	194,75	25,72
10	146,89	11,228	146,04	14,35
11	96,89	7,406	96,67	6,26
12	46,89	3,564	46,88	1,47

$$\begin{aligned}
 T &= 337,85 \text{ м} \\
 K &= 634,54 \text{ м} \\
 Б &= 72,58 \text{ м} \\
 K &= 50 \text{ м} \\
 \varphi &= \frac{k180^\circ}{R\pi} \\
 x &= R \sin \varphi \\
 y &= R(1 - \cos \varphi)
 \end{aligned}$$

Рис. 8.1. Детальная разбивка кривой способом прямоугольных координат

Лабораторная работа № 9

ВЫНОС В НАТУРУ КРИВОЙ НЕСКОЛЬКИМИ СПОСОБАМИ

Данная работа выполняется в полевых условиях (весной на улице). Разбивка кривой осуществляется на местности бригадой из трех человек. Для разбивки предлагаются небольшие кривые, чтобы было 4–5 разбивочных точек (табл. 9.1). Планируется выполнить разбивку способом прямоугольных координат, а контроль – способом углов.

Таблица 9.1

Варианты круговых кривых

№ варианта	Угол поворота	Радиус	№ варианта	Угол поворота	Радиус
1	30	100	9	22	120
2	24	100	10	20	130
3	28	120	11	32	50
4	35	50	12	25	110
5	30	90	13	18	140
6	25	95	14	28	100
7	33	80	15	26	60
8	27	100	16	24	50

В комплект геодезических приборов, необходимых для выполнения разбивочных работ, входят: теодолит Т30, штатив, две вешки, рулетка (50 м) или мерная лента со шпильками. Перед началом разбивки теодолит обязательно проверяют.

Данная лабораторная работа позволяет студентам приобрести практические навыки разбивочных работ.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений / сост. О. Д. Климов. – Москва: Недра, 1991.
2. Михелев, Д. Ш. Инженерная геодезия / Д. Ш. Михелев. – Москва: Высшая школа, 2001.
3. Нестеренок, М. С. Инженерная геодезия / М. С. Нестеренок. – Минск, 2009.
4. Подшивалов, В. П. Инженерная геодезия : учебник / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск: Вышэйшая школа, 2011.
5. Основы инженерных изысканий : учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-56 02 01 «Геодезия» / сост. Л.Ф. Зуева. – Новополоцк: ПГУ, 2004.
6. Геодезические работы в строительстве. Правила проведения : ТКП 45-1.03-26–2006 (02250). – Минск, 2006.
7. Инженерно-геодезические изыскания для мелиоративно-го и водохозяйственного строительства : ВСН 33-2.1.07–87. – Москва, 1987.
8. Инженерные изыскания для строительства : СНБ 1.02.01–96. – Минск.
9. Инженерные изыскания для строительства : СНиП 11-02–96. – Москва, 1996.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
<i>Лабораторная работа № 1. Вычисление координат стенных знаков полигонометрии</i>	4
<i>Лабораторная работа № 2. Применение угловой засечки в инженерно-геодезических работах</i>	7
<i>Лабораторная работа № 3. Определение расхода воды графоаналитическим способом.....</i>	11
<i>Лабораторная работа № 4. Оценка точности проекта триангуляции</i>	16
<i>Лабораторная работа № 5. Оценка точности проекта полигонометрии.....</i>	22
<i>Лабораторная работа № 6. Вычисление координат пунктов строительной сетки в частной и геодезической системах координат</i>	27
<i>Лабораторная работа № 7. Камеральное трассирование автомобильной дороги</i>	31
<i>Лабораторная работа № 8. Детальная разбивка круговых кривых.....</i>	39
<i>Лабораторная работа № 9. Вынос в натуру кривой несколькими способами</i>	41
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	42

Учебное издание

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Практикум для студентов
специальности 1-56 02 01 «Геодезия»

Составители:

МЫСЛИВЧИК Екатерина Юрьевна
ГАРМАЗА Ольга Евгеньевна

Редактор *Т. В. Грищенкова*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 03.01.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 100. Заказ 537.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.