

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра инженерной геодезии**

**ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ  
НА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов бакалавриата направления 21.03.02*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

УДК 528.48 (073)

**ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ. Инженерно-геодезические работы на городской территории:** Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *В.Г. Потюхляев*. СПб, 2019. 30 с.

Приведены общие сведения и практические примеры по выполнению некоторых видов инженерно-геодезических работ на застроенных территориях.

Предназначены для студентов второго курса направления 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», а также могут быть использованы студентами третьего курса специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия» для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Прикладная геодезия».

Научный редактор доц. *А.В. Зубов*

Рецензент доц. *Т.Ю. Терещенко* (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

## **ВВЕДЕНИЕ**

Производство геодезических работ на городских территориях имеет ряд существенных особенностей, которые необходимо учитывать при разработке проектов строительства зданий и инженерных сооружений. Например, на стадии изысканий при построении планового обоснования для инженерно-топографической съемке или отводе земельного участка под строительство требуется осуществлять привязку теодолитных ходов к стенным знакам городской полигонометрии. При этом важно произвести оценку графического проекта построения планового обоснования. Вертикальная планировка является неотъемлемой частью проекта строительства большинства объектов на городских территориях.

Учитывая широкую распространенность указанных выше инженерно-геодезических работ, они включены в качестве учебных заданий по дисциплине «Прикладная геодезия». Все лабораторные работы тематически связаны между собой.

Цель выполнения данных лабораторных работ заключается не только в закреплении учебного материала, но и в обучении студентов элементам технического проектирования, необходимым при выполнении курсовой работы.

### **РАБОТА 1. ПРИВЯЗКА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА К СТЕННЫМ ЗНАКАМ ГОРОДСКОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ**

#### **1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Пункты городской полигонометрии, а также некоторые пункты, положение которых определяют с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, закрепляют стенными знаками. Каждый пункт обозначают двумя знаками, расположенными на расстоянии 4-8 м друг от друга. Для этого используют наружные стены капитальных зданий, построенных не ранее двух лет до закладки знаков.

Стенные знаки по сравнению с грунтовыми имеют следующие преимущества:

- доступны в любое время года;
- являются более устойчивыми;
- их закладка и изготовление намного дешевле;
- не требуют согласований с организациями для производства земляных работ.

С другой стороны из-за недоступности стенных знаков может быть затруднено определение их координат и привязка к ним теодолитных ходов. По этим признакам стенные знаки делят на три группы: штанговые, восстановительные и ориентирные. Знаки первых двух групп не требуют непосредственно передавать на них координаты, поскольку их положение определено концом штанги, закрепленной на знаке, концом отрезка заданной длины  $l$  (рис. 1), вершиной равностороннего треугольника (рис. 2) и т.д. Варианты определения положения центров пунктов, представленные на рисунках 1 и 2, относят к так называемым восстановительным знакам.

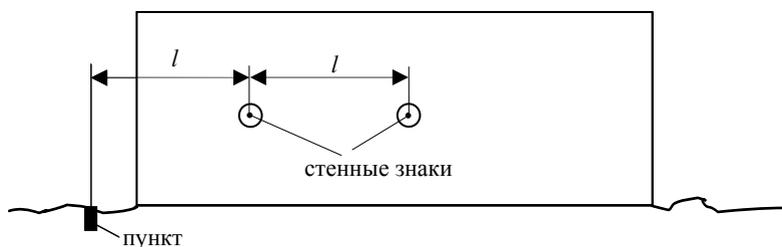


Рис. 1. Восстановительный знак в виде отрезка

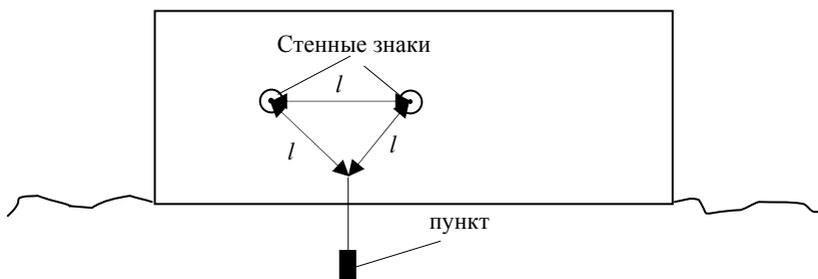


Рис. 2. Восстановительный знак в виде равностороннего треугольника

Координаты ориентирных стенных знаков определяют непосредственно, например, полярным способом с ближайших пунктов вспомогательного полигонометрического хода (рис. 3).

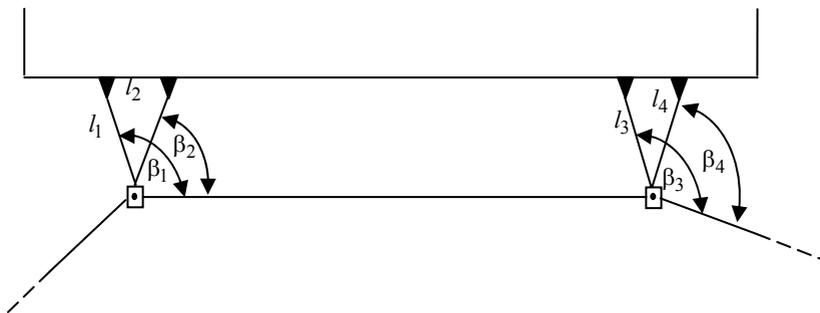


Рис. 3. Определение координат стенных знаков от пунктов вспомогательного хода

Привязка теодолитных ходов к ориентирным стенным знакам может быть выполнена разными способами. В данной работе предлагается произвести привязку теодолитного хода к одинарным и парным стенным знакам городской полигонометрии.

## 1.2. ПРИВЯЗКА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА К ОДИНАРНЫМ СТЕННЫМ ЗНАКАМ

На рис. 4 приведена схема привязки, где  $P_1, P_2, P_3$  - одинарные стенные знаки пунктов городской полигонометрии; 1, 2, 3 - пункты теодолитного хода. На начальном пункте 1 теодолитного хода измерено и отредуцировано на горизонтальную плоскость расстояние  $l$  до ближайшего стенного знака, а также горизонтальные направления на стенные знаки  $P_1, P_2, P_3$  и пункт теодолитного хода 2. По измеренным направлениям вычислены горизонтальные углы  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ . Направление 1- $P_3$  является контрольным, т.е. позволяет вы-

полнить контроль измерений и, в принципе, не является обязательным.

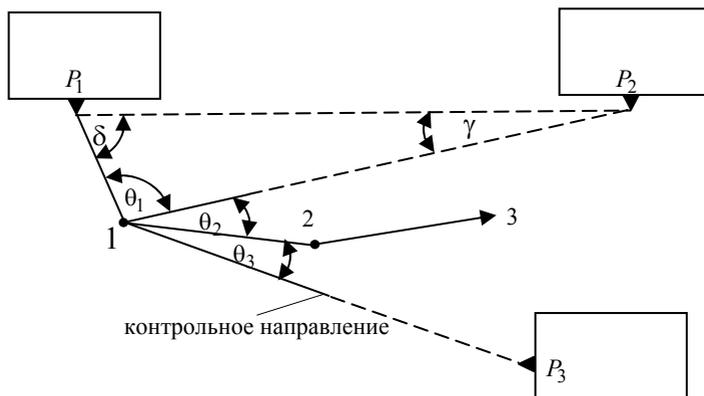


Рис. 4. Схема привязки теодолитного хода к одинарным стенным знакам

Координаты пункта 1 теодолитного хода могут быть определены по формулам:

$$x_1 = x_{P_1} + l \cdot \cos(\alpha_{P_1-P_2} + \delta); \quad (1.1)$$

$$y_1 = y_{P_1} + l \cdot \sin(\alpha_{P_1-P_2} + \delta), \quad (1.2)$$

где дирекционный угол  $\alpha_{P_1-P_2}$  получают из решения обратной геодезической задачи, а угол  $\delta$  вычисляют по теореме синусов:

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_1-P_2} = \frac{y_{P_2} - y_{P_1}}{x_{P_2} - x_{P_1}}; \quad (1.3)$$

$$S_{P_1-P_2} = \frac{y_{P_2} - y_{P_1}}{\sin \alpha_{P_1-P_2}} = \frac{x_{P_2} - x_{P_1}}{\cos \alpha_{P_1-P_2}}; \quad (1.4)$$

$$\delta = 180^\circ - (\theta_1 + \gamma); \quad (1.5)$$

$$\sin\gamma = \frac{l}{S_{P_1-P_2}} \cdot \sin\theta_1. \quad (1.6)$$

Полученные координаты  $x_1$ ,  $y_1$  могут быть использованы для контроля вычислений, который заключается в сравнении вычисленного вычисленного и измеренного значений угла  $\theta_1$ . Вычисленное значение угла определяется по формуле (рис. 4)

$$\theta_{1(\text{выч})} = \alpha_{1-P_2} + 360^0 - \alpha_{1-P_1}, \quad (1.7)$$

где

$$\alpha_{1-P_1} = \alpha_{P_1-P_2} + \delta + 180^0. \quad (1.8)$$

Дирекционный угол направления  $1-P_2$  в формуле (1.7) находят из решения обратной геодезической задачи, т.е.

$$\operatorname{tg}\alpha_{1-P_2} = \frac{y_{P_2} - y_1}{x_{P_2} - x_1}. \quad (1.9)$$

Для привязки теодолитного хода необходимо определить также дирекционный угол первой его стороны. Для этого можно воспользоваться, например, следующей формулой:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{1-P_2} + \theta_2. \quad (1.10)$$

При наличии видимости на третий стеной знак  $P_3$  координаты начального пункта теодолитного хода могут быть вычислены вторично, согласно схеме, приведенной на рис. 5.

В этом случае:

$$x_1 = x_{P_1} + l \cdot \cos(\alpha_{P_1-P_3} + \delta'); \quad (1.11)$$

$$y_1 = y_{P_1} + l \cdot \sin(\alpha_{P_1-P_3} + \delta'); \quad (1.12)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{P_1-P_3} = \frac{y_{P_3} - y_{P_1}}{x_{P_3} - x_{P_1}}; \quad (1.13)$$

$$S_{P_1-P_3} = \frac{y_{P_3} - y_{P_1}}{\sin \alpha_{P_1-P_3}} = \frac{x_{P_3} - x_{P_1}}{\cos \alpha_{P_1-P_3}}; \quad (1.14)$$

$$\sin \gamma' = \frac{l}{S_{P_1-P_3}} \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3); \quad (1.15)$$

$$\delta' = 180^\circ - (\gamma' + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3). \quad (1.16)$$

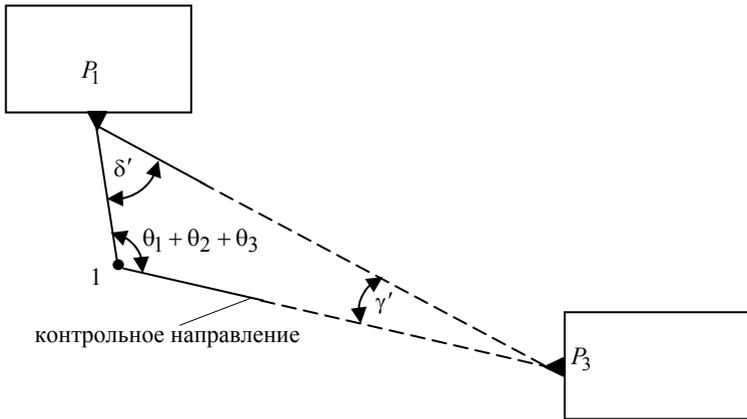


Рис. 5. Схема привязки теодолитного хода по контрольному направлению

Расхождения координат точки 1, вычисленных по формулам (1.1), (1.2), (1.11), (1.12), не должны превышать 0,02 м.

Ниже приведен пример и порядок вычислений по привязке теодолитного хода.

### 1. Исходные данные.

Таблица 1

Стенные знаки	Координаты		Горизонтальные углы	Измеренные значения	l, м
	x	y			
P <sub>1</sub>	5494,186	1418,313	θ <sub>1</sub>	97°15,0'	35,702
P <sub>2</sub>	5489,920	1627,112	θ <sub>2</sub>	5°20,5'	
P <sub>3</sub>	5448,317	1636,525	θ <sub>3</sub>	6°25,0'	

## 2. Решение обратных геодезических задач.

Таблица 2

Знаки 1-2	$P_1 - P_2$ (1) - (2)	$P_1 - P_3$ (1) - (2)
$y_2$	1627,112	1636,525
$y_1$	1418,313	1418,313
$\Delta y = y_2 - y_1$	+208,799	+218,212
$x_2$	5489,920	5448,317
$x_1$	5494,186	5494,186
$\Delta x = x_2 - x_1$	-4,266	-45,869
$\alpha = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}$	91°10'14"	101°52'15"
$S_{1-2} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_{1-2}}$	208,843	222,981
$S_{1-2} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_{1-2}}$	208,843	222,981

## 3. Вычисление углов $\delta$ и $\gamma$ .

Таблица 3

Исходные знаки $P_1, P_2$		Исходные знаки $P_1, P_3$ (контроль)	
Обозначение	Величина	Обозначение	Величина
$\gamma$	9°45,8'	$\gamma'$	8°42,4'
$\theta_1$	97°15,0'	$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3$	109°00,5'
$\delta = 180^0 - (\theta_1 + \gamma)$	72°59,2'	$\delta' = 180^0 - (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \gamma')$	62°17,1'

#### 4. Вычисление координат пункта 1 теодолитного хода.

Таблица 4

Исходные знаки $P_1, P_2$		Исходные знаки $P_1, P_3$ (контроль)	
Обозначение	Величина	Обозначение	Величина
$x_{P_1}$	5494,186	$x_{P_1}$	5494,186
$\alpha_{P_1-P_2} + \delta$	164°09,4'	$\alpha_{P_1-P_3} + \delta'$	164°09,4'
$\Delta x = l \cdot \cos(\alpha_{P_1-P_2} + \delta)$	-34,346	$\Delta x = l \cdot \cos(\alpha_{P_1-P_3} + \delta')$	-34,346
$x_1$	<u>5459,84</u>	$x_1$	<u>5459,84</u>
$y_{P_1}$	1418,313	$y_{P_1}$	1418,313
$\Delta y = l \cdot \sin(\alpha_{P_1-P_2} + \delta)$	+9,747	$\Delta y = l \cdot \sin(\alpha_{P_1-P_3} + \delta')$	+9,747
$y_1$	<u>1428,06</u>	$y_1$	<u>1428,06</u>

#### 5. Контроль вычислений.

$$\alpha_{1-P_1} = \alpha_{P_1-P_2} + \delta + 180^\circ = 91^\circ 10,2' + 72^\circ 59,2' + 180^\circ = 344^\circ 09,4';$$

$$tg \alpha_{1-P_2} = \frac{y_{P_2} - y_1}{x_{P_2} - x_1} = +6,618218; \quad \alpha_{1-P_2} = 81^\circ 24,5'. \quad \text{Контроль:}$$

$$\alpha_{1-P_2} + 360^\circ - \alpha_{1-P_1} = \theta_{1(\text{выч})}; \quad 81^\circ 24,5' + 360^\circ - 344^\circ 09,4' = 97^\circ 15,1'$$

( $\theta_{1(\text{изм})} = 97^\circ 15,0'$  – допустимое расхождение 0,2').

6. Вычисление дирекционного угла стороны 1-2 теодолитного хода.  $\alpha_{1-2} = \alpha_{1-P_2} + \theta_2 = 81^\circ 24,5' + 5^\circ 20,5' = 86^\circ 45,0'$ .

### 1.3. ПРИВЯЗКА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА К ПАРНЫМ СТЕННЫМ ЗНАКАМ

Согласно схеме, приведенной на рис. 6, задача может быть решена следующим образом.

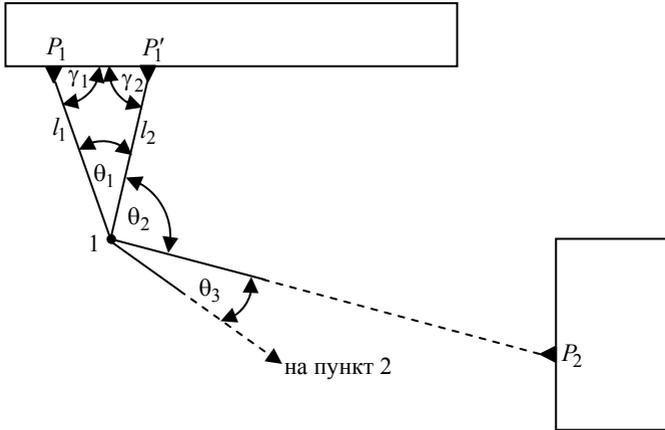


Рис. 6. Схема привязки теодолитного хода к парным стенным знакам

Определение углов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ :

$$\sin\gamma_1 = \frac{l_2}{S_{P_1-P'_1}} \cdot \sin\theta_1; \quad (1.17)$$

$$\sin\gamma_2 = \frac{l_1}{S_{P_1-P'_1}} \cdot \sin\theta_1. \quad (1.18)$$

Контроль вычислений:  $\gamma_1 + \gamma_2 + \theta_1 = 180^\circ \pm 3'$ .

Вычисление координат пункта 1 теодолитного хода:  
от знака  $P_1$

$$x_1 = x_{P_1} + l_1 \cdot \cos(\alpha_{P_1-P'_1} + \gamma_1); \quad (1.19)$$

$$y_1 = y_{P_1} + l_1 \cdot \sin(\alpha_{P_1-P'_1} + \gamma_1); \quad (1.20)$$

от пункта  $P'_1$

$$x_1 = x_{P_1'} + l_2 \cdot \cos(\alpha_{P_1-P_1'} + 180^\circ - \gamma_2); \quad (1.21)$$

$$y_1 = y_{P_1'} + l_2 \cdot \sin(\alpha_{P_1-P_1'} + 180^\circ - \gamma_2), \quad (1.22)$$

где  $\alpha_{P_1-P_1'}$  вычисляют из решения обратной геодезической задачи,

$$\text{т.е.} \left( \operatorname{tg} \alpha_{P_1-P_1'} = \frac{y_{P_1'} - y_{P_1}}{x_{P_1'} - x_{P_1}} \right).$$

Контроль: расхождения в значениях координат, вычисленных от стенового знака  $P_1$  и  $P_1'$  не должны превышать 0,02 м.

Вычисление дирекционного угла стороны 1-2 теодолитного хода:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{1-P_2} + \theta_3, \quad (1.23)$$

где дирекционный угол  $\alpha_{1-P_2}$  вычисляют через  $\operatorname{tg} \alpha_{1-P_2} = \frac{y_{P_2} - y_1}{x_{P_2} - x_1}$ .

Контроль вычислений:

$$\alpha_{1-P_2} - \alpha_{1-P_1'} = \theta_{2(\text{выч})}, \quad (1.24)$$

где  $\alpha_{1-P_1'} = \alpha_{P_1-P_1'} - \gamma_2$ ;  $\theta_{2(\text{выч})} = \theta_{2(\text{изм})} \pm 3'$ .

Ниже приведен пример и порядок вычислений.

### 1. Исходные данные.

Таблица 5

Стенные знаки	Координаты		Горизонтальные углы	Измеренные значения	Отрезки	
	X, м	Y, м			$l_1$ , м	$l_2$ , м
$P_1$	6912,327	5308,639	$\theta_2$	35° 05,0'	7,220	7,320
$P_1'$	6910,783	5312,741	$\theta_2$	59 48,5		
$P_2$	6598,831	7194,493	$\theta_3$	27 18,5		

## 2. Решение обратных геодезических задач.

Таблица 6

Знаки 1-2	$P_1 - P'_1$ (1) - (2)	$1 - P_2^*$ (1) - (2)
$y_2$	5312,741	7194,49
$y_1$	5308,639	5308,10
$\Delta y = y_2 - y_1$	+4,102	+1886,39
$x_2$	6910,783	6598,83
$x_1$	6912,327	6905,13
$\Delta x = x_2 - x_1$	-1,544	-306,30
$\alpha_{1-2}$	110° 37' 35"	99° 13,4'
$S_{1-2} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_{1-2}}$	4,383	1911,10
$S_{1-2} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_{1-2}}$	4,383	1911,10

\*Примечание: задача решается после определения координат пункта 1 теодолитного хода

## 3. Вычисление углов $\gamma_1$ и $\gamma_2$ .

$\gamma_1 = 73^\circ 43,3'$ ,  $\gamma_2 = 71^\circ 13,6'$ . Контроль:  $\gamma_1 + \gamma_2 + \theta_1 = 180^\circ 01,9'$ .

## 4. Вычисление координат пункта 1 теодолитного хода.

Таблица 7

Исходный знак $P_1$		Исходный знак $P'_1$ (контроль)	
Обозначение	Величина	Обозначение	Величина
$x_{P_1}$	6912,327	$x_{P'_1}$	6910,783
$\alpha_{P_1-P'_1} + \gamma_1$	184°20,9'	$\alpha_{P_1-P'_1} + 180^\circ - \gamma_2$	219°24,0
$\Delta x = l_1 \cdot \cos(\alpha_{P_1-P'_1} + \gamma_1)$	-7,199	$\Delta x = l_2 \cdot \cos(\alpha_{P_1-P'_1} + 180^\circ - \gamma_2)$	-5,656
$x_1$	<u>6905,13</u>	$x_1$	<u>6905,13</u>
$y_{P_1}$	5308,639	$y_{P'_1}$	5312,741
$\Delta y = l_1 \cdot \sin(\alpha_{P_1-P'_1} + \gamma_1)$	-0,547	$\Delta y = l_2 \cdot \sin(\alpha_{P_1-P'_1} + 180^\circ - \gamma_2)$	-4,646
$y_1$	<u>5308,09</u>	$y_1$	<u>5308,10</u>

5. Вычисление дирекционного угла стороны 1-2 теодолитного хода.  $\alpha_{1-2} = \alpha_{1-P_2} + \theta_3 = 99^\circ 13,4' + 27^\circ 18,5' = 126^\circ 31,9'$ .

6. Контроль вычислений:  $\alpha_{1-P_1'} = \alpha_{P_1-P_1'} - \gamma_2 = 39^\circ 24,0'$ ;  
 $\alpha_{1-P_2} - \alpha_{1-P_1'} = \theta_{2(выч)} = 99^\circ 13,4' - 39^\circ 24,0' = 59^\circ 49,4'$  ( $\theta_{2(изм)} = 59^\circ 49,5'$ ).

## РАБОТА 2. ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА ТЕРРИТОРИЙ

### 2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одной из составных частей генерального плана строительства площадных сооружений является проект вертикальной планировки. Цель вертикальной планировки – преобразование естественного рельефа в искусственный путем выполнения земляных работ.

Проектирование вертикальной планировки обычно выполняется в два этапа: сначала составляют схему вертикальной планировки, а затем план организации рельефа, к которому прилагают картограмму земляных работ

Разработка плана организации рельефа осуществляется в основном двумя графо-аналитическими методами: методом профилей и методом проектных горизонталей. Метод профилей используется для планировки рельефа под линейные сооружения (дороги, улицы, внутриквартальные проезды и т.д.) и заключается в построении продольного и поперечного профилей. Метод проектных горизонталей применяют при проектировании рельефа площадей, перекрестков, аэродромов, площадок промышленных предприятий, внутриквартальных территорий и т.д. Сущность метода заключается в том, что на топографическом плане проводят проектные горизонталю того рельефа, который получится после изменения естественного путем срезок и подсыпок.

При проектировании рельефа важно знать объем земляных работ с тем, чтобы определить их стоимость. С этой целью на планах масштабов 1:5000 – 1:500 составляют картограмму земляных работ, которая представляет собой чертеж в виде сетки квадратов со сторонами 10, 20, 25, 40 или 50 м (в зависимости от масштаба плана

и требуемой точности подсчета объемов). Исходные данные для составления картограммы земляных работ (отметки вершин квадратов) могут быть получены цифровой модели рельефа, с топографического плана, либо из результатов нивелирования сетки квадратов, разбитой на местности. В данной работе предполагается составление картограмм земляных работ для горизонтальной и наклонной площадок по топографическому плану.

## 2.2. СОСТАВЛЕНИЕ КАРТОГРАММЫ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Эта часть работы выполняется в следующей последовательности:

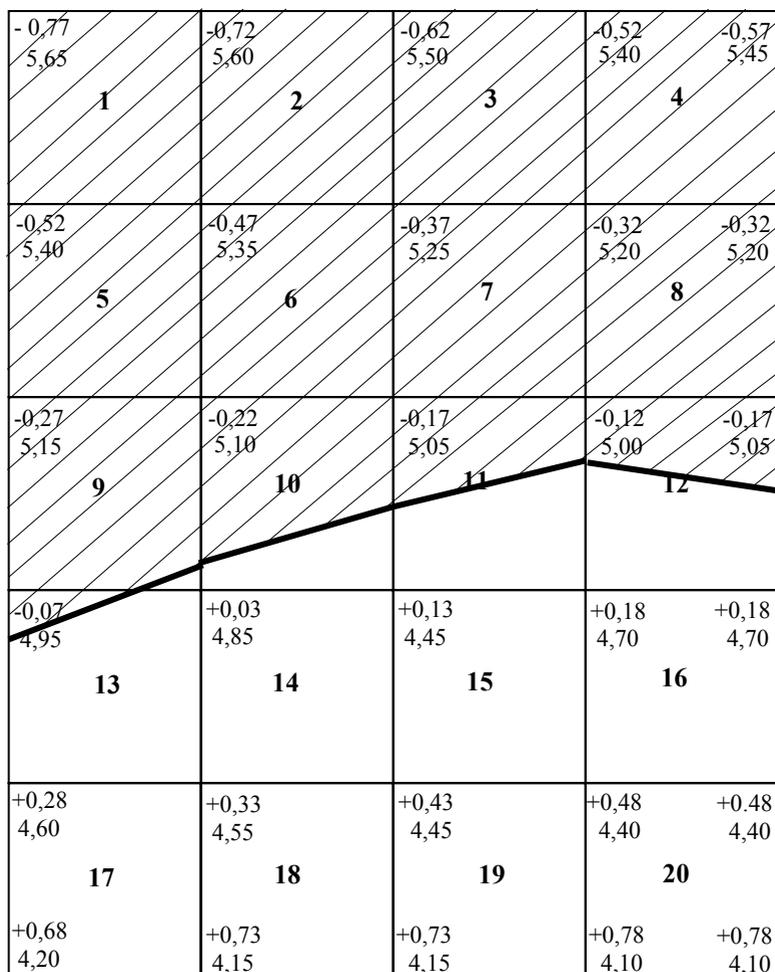
1. На лист кальки переносят обозначенный в задании участок топографического плана масштаба 1:1000 с высотой сечения рельефа 0,25 м размером 160 × 200 м. Площадку делят на квадраты со сторонами 40 м.

2. По горизонталям определяют отметки каждой вершины квадрата с точностью до 0,05 м (1/5 от высоты сечения рельефа). Эти отметки записывают против соответствующих вершин квадратов, вычерченных на листе плотной бумаги (рис. 7). Сетку квадратов и фактические отметки обозначают черным цветом.

3. Вычисляют проектную отметку горизонтальной площадки исходя из условия баланса земляных работ (соблюдения равенства объемов насыпи и выемки грунта). Очевидно, что это условие будет выполнено, если проектная отметка соответствует среднему арифметическому из значений фактических отметок вершин всех квадратов. При этом целесообразно воспользоваться следующей рабочей формулой:

$$H_0 = \frac{\Sigma H_1 + 2\Sigma H_2 + 4\Sigma H_4}{4n}, \quad (2.1)$$

где  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_4$  - фактические отметки вершин, принадлежащих соответственно одному, двум, четырем квадратам;  $n$  - число квадратов.



Масштаб 1:1000

Рис. 7. Картограмма земляных работ горизонтальной площадки

Поясним вычисление проектной отметки по формуле (2.1) на примере квадрата № 1 (рис. 7). Фактическая отметка 5,65 м квадрата № 1 принадлежит только этому квадрату и ее учитывают в фор-

муле (2.1) только один раз ( $H_1$ ). Отметки 5,60 м и 5,40 м принадлежат вершинам двух квадратов - соответственно №1, №2 и №1, №5; поэтому их берут дважды ( $2H_2$ ). Отметка 5,35 м принадлежит вершинам четырех квадратов - № 1, № 2, № 5, № 6 и ее учитывают четыре раза ( $4H_4$ ).

Вычисление составляющих формулы (3.1) можно представить в виде таблицы (табл. 8). Значение проектной отметки округляют до 1 см.

Таблица 8

$\Sigma H_1$	$2\Sigma H_2$	$4\Sigma H_4$	$\Sigma H_1 + 2\Sigma H_2 + 4\Sigma H_4$	$4n$	$H_0, \text{ м}$
19,40	136,70	234,60	390,70	80	4,88

4. Вычисляют рабочие отметки каждой вершины квадратов, которые записывают на картограмму земляных работ синим цветом (рис. 7). Контроль вычислений рабочих отметок:

$$h_0 = \frac{\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 4\Sigma h_4}{4n} \approx 0, \quad (2.2)$$

где  $h_1, h_2, h_4$  - рабочие отметки вершин, принадлежащих соответственно одному, двум, четырем квадратам.

5. Синим цветом проводят линию «нулевых работ», положение которой определяют интерполированием отрезков сторон квадратов, опирающихся на вершину с разными по знаку рабочими отметками (рис. 8). Длины соответствующих отрезков (отстояние линии нулевых работ от вершин квадратов) определяют по формулам:

$$l_1 = \frac{|h_1|}{|h_1| + |h_2|} L; \quad (2.3)$$

$$l_2 = \frac{|h_2|}{|h_1| + |h_2|} L, \quad (2.4)$$

где  $h_1, h_2$  - рабочие отметки соответствующих вершин квадрата;  $L$  - длина стороны квадрата на плане.

В качестве примера рассмотрим расчет положения линии нулевых работ, проходящей через стороны квадрата №11 (рис. 7). Согласно имеющимся данным  $l_1 = 0,13$ :  $(0,13 + 0,17) \cdot 40 = 17,3$  мм;  $l_2 = 0,17$ :  $(0,17 + 0,13) \cdot 40 = 22,7$  мм;  $l'_1 = 0,12$ :  $(0,12 + 0,18) \cdot 40 = 16,0$  мм;  $l'_2 = 0,18$ :  $(0,18 + 0,12) \cdot 40 = 24,0$  мм. Контроль:  $l_1 + l_2 = l'_1 + l'_2 = 40,0$  мм.

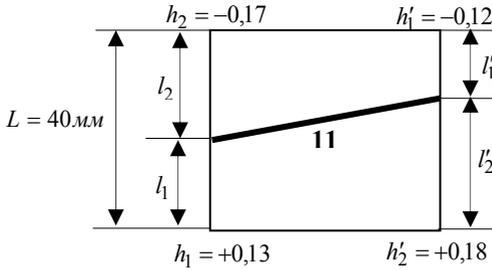


Рис. 8. Расчет положения линии нулевых работ

6. Вычисляют объем земляных работ в насыпе и выемке. При этом возможны следующие варианты (рис. 9 а, б, в):

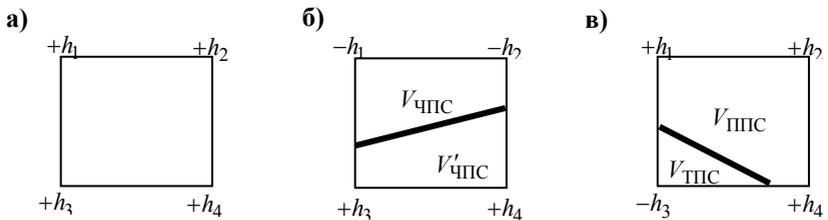


Рис. 9. Вычисление объема земляных работ: а) четырехгранной призмы полного квадрата; б) четырехгранной призмы смешанного квадрата; в) трехгранной и пятигранной призм смешанного квадрата

- для четырехгранной призмы полного квадрата, вершины которого имеют рабочие отметки с одним знаком (рис. 9,а)

$$V_{\text{чпц}} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} \cdot S_{\text{кв}}, \quad (2.5)$$

где  $h_1, h_2, h_3, h_4$  - рабочие отметки вершин квадрата;  $S_{\text{кв}}$  - площадь основания призмы (квадрата).

- для четырехгранных призм смешанного квадрата (рис. 9,б)

$$V_{\text{чпц}} = \frac{h_1 + h_2}{4} S_{\text{ч}}; \quad (2.6)$$

$$V'_{\text{чпц}} = \frac{h_3 + h_4}{4} S'_{\text{ч}}. \quad (2.7)$$

- для трехгранной призмы смешанного квадрата (рис. 9,в)

$$V_{\text{тпц}} = \frac{h_3}{3} S_{\text{т}}. \quad (2.8)$$

- для пятигранной призмы смешанного квадрата (рис. 9,в)

$$V_{\text{ппц}} = \frac{h_1 + h_2 + h_4}{5} S_{\text{п}}, \quad (2.9)$$

где площадь основания пятигранной призмы  $S_{\text{п}}$  определяют по разности площадей квадрата и треугольника ( $S_{\text{кв}} - S_{\text{т}}$ ).

Вычисленные площади основания призм округляют до 0,1 м<sup>2</sup>, а объемы – до 1 м<sup>3</sup>. Результаты вычислений приведены в таблице 9.

Таблица 9

Ведомость вычисления объема земляных работ  
горизонтальной площадки

№ квадрата	Фигура основания призмы	$S, \text{ м}^2$	$V, \text{ м}^3$	
			Насыпь +	Выемка -
1	квадрат	1600,0		992
2	квадрат	1600,0		872
3	квадрат	1600,0		732
4	квадрат	1600,0		692
5	квадрат	1600,0		592

Продолжение таблицы 9

№ квадрата	Фигура основания призмы	$S, \text{ м}^2$	$V, \text{ м}^3$	
			Насыпь +	Выемка -
6	квадрат	1600,0		492
7	квадрат	1600,0		392
8	квадрат	1600,0		372
9	треугольник	28,8	0	
	пятиугольник	1571,2		176
10	четырёхугольник	1157,3		113
	четырёхугольник	442,7	18	
11	четырёхугольник	773,3		62
	четырёхугольник	826,7	205	
12	четырёхугольник	708,6		37
	четырёхугольник	891,4	80	
13	треугольник	112,0		3
	пятиугольник	1488,0	190	
14	квадрат	1600,0	368	
15	квадрат	1600,0	488	
16	квадрат	1600,0	528	
17	квадрат	1600,0	808	
18	квадрат	1600,0	888	
19	квадрат	1600,0	968	
20	квадрат	1600,0	1008	
$\Sigma$		32000,0	5549	5527

7. Подводят баланс земляных работ. Для этого вычисляют суммарный объем грунта со знаком плюс ( $V_H$  - объем насыпи) и суммарный объем грунта со знаком минус ( $V_B$  - объем выемки). Дисбаланс выражают в абсолютной величине  $\Delta V = V_H - V_B = 5549 - 5527 = +22 \text{ м}^3$  и в процентах  $\frac{|\Delta V|}{|V_H| + |V_B|} \cdot 100\% = \frac{22}{5549 + 5527} \cdot 100 = 0,2\%$ .

Расхождение в объемах насыпи и выемки не должно превышать 3% от полного объема земляных работ.

### 2.3. СОСТАВЛЕНИЕ КАРТОГРАММЫ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ НАКЛОННОЙ ПЛОЩАДКИ

Проектирование наклонной площадки производится для обеспечения стока воды с заданным продольным уклоном  $i_X$ , поперечным  $i_Y$  и отметкой исходной точки  $H_A$  (рис. 10).

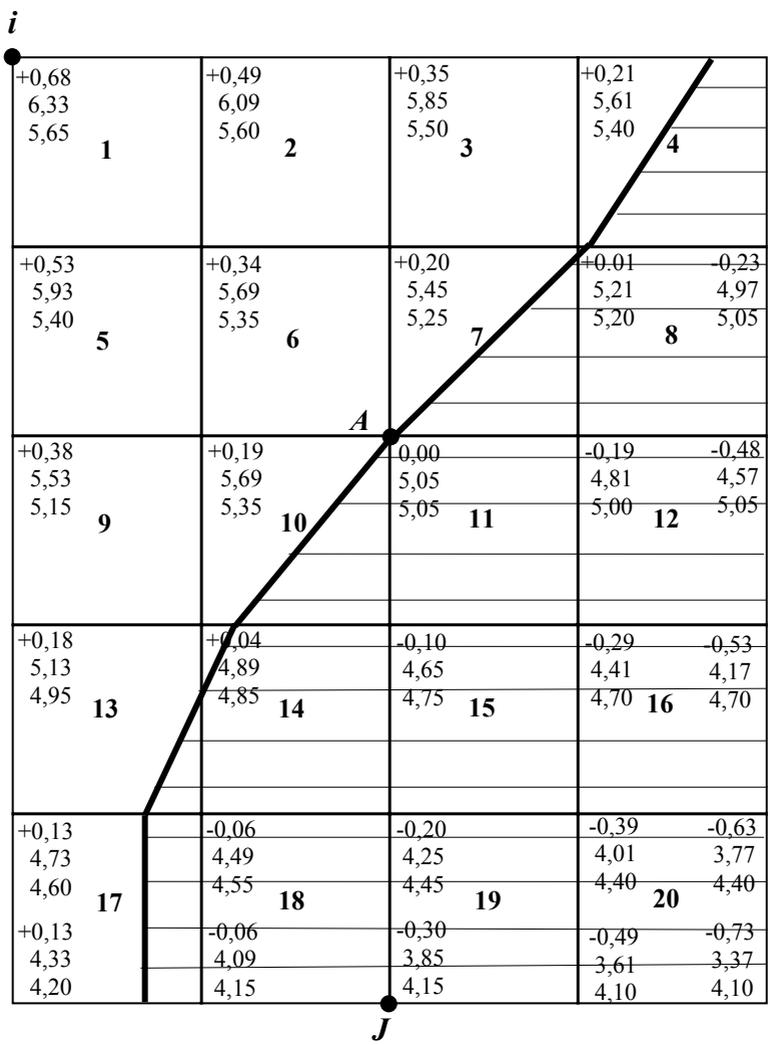
Порядок выполнения этой части работы тот же, что и при составлении картограммы земляных работ горизонтальной площадки. Отличительной особенностью является то, что вследствие наклона площадки проектные отметки вершин квадратов будут иметь разные значения, которые получают из равенства

$$H_{\text{пр}} = H_A + d_X i_X + d_Y i_Y, \quad (2.10)$$

где  $d_X, d_Y$  - расстояния соответственно по осям  $X, Y$  от исходной точки  $A$  до определяемой точки  $i$ .

Рассмотрим примеры вычисления проектных отметок вершин квадратов, принимая проектную отметку исходной точки (обозначенной на рис. 10) равной ее фактической отметке, т.е.  $H_A = 5,05$  м. Значения уклонов примем  $i_X = 10 \%$ ,  $i_Y = 6 \%$  (направления уклонов обозначены на рис. 10 стрелками). Для вершины  $i$   $d_X = d_Y = 80$  м, тогда из равенства (2.10)  $H_{\text{пр}i} = 5,05 + 0,010 \cdot 80 + 0,006 \cdot 80 = 6,33$  м. Для вершины  $j$   $d_X = 120$  м,  $d_Y = 0$ ,  $H_{\text{пр}j} = 5,05 - 0,010 \cdot 120 = 3,85$  м.

Полученные проектные отметки записывают красным цветом над соответствующими фактическими отметками вершин квадратов. Затем вычисляют рабочие отметки, проводят линию нулевых работ и составляют ведомость вычисления объемов (табл. 10). Очевидно, что условие баланса земляных работ в этом случае не учитывается.



Масштаб 1:1000

Рис. 10. Картограмма земляных работ наклонной площадки

Таблица 10

Ведомость вычисления объема земляных работ наклонной площадки

№ квад- рата	Фигура основания призмы	S, м	V, м <sup>3</sup>	
			Насыпь +	Выемка -
1	квадрат	1600,0	816	
2	квадрат	1600,0	552	
3	квадрат	1600,0	308	
4	четырёхугольник	612,6	37	
	четырёхугольник	987,4		77
5	квадрат	1600,0	576	
6	квадрат	1600,0	292	
7	треугольник	760,0		48
	четырёхугольник	840,0	44	
8	треугольник	1,7	0	
	пятиугольник	1598,3		288
9	квадрат	1600,0	316	
10	четырёхугольник	1028,6	59	
	треугольник	571,4		19
11	квадрат	1600,0		232
12	квадрат	1600,0		596
13	треугольник	151,6		3
	пятиугольник	1448,4	101	
14	треугольник	91,4	1	
	пятиугольник	1508,6		109
15	квадрат	1600,0		392
16	квадрат	1600,0		736
17	четырёхугольник	1094,7	71	
	четырёхугольник	505,3		15
18	квадрат	1600,0		248
19	квадрат	1600,0		552
20	квадрат	1600,0		896
Σ		32000,0	3173	4211

## РАБОТА 3. ОЦЕНКА ГРАФИЧЕСКОГО ПРОЕКТА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

### 3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Наряду с обычными геодезическими сетями, предназначенными для решения общих топографических задач, применяются так называемые сети специального назначения, которые используются для решения задач какой-либо отрасли.

Инженерно-геодезические сети, как сети специального назначения, можно условно разделить на три группы. К первой группе относятся сети, используемые в качестве обоснования для составления изыскательских карт и планов. При построении таких сетей следует руководствоваться требованиями сводов правил СП 47.13330.2012 [4] и СП-104-97 [5]. К второй группе инженерно-геодезических сетей относят разбивочные сети. Для предрасчета точности построения таких сетей в качестве исходных данных используют строительные допуски. К третьей группе относят сети, предназначенные для наблюдений за деформациями инженерных сооружений. Здесь в качестве исходных данных для определения необходимой точности их построения применяют расчеты устойчивости сооружений.

В состав геодезических работ при ведении кадастра также может быть включено построение сетей специального назначения, предназначенных, например, для определения положения границ земельных участков. Среди известных методов определения положения границ земельных участков наибольшее распространение получил метод обхода полигонометрическими ходами. При этом точность определения положения межевых знаков, обозначающих границы земельных участков, регламентирована инструкцией по межеванию земель [1], где указано, что средняя квадратическая погрешность положения межевых знаков не должна превышать 0,1 мм в масштабе кадастровой съемки. Поскольку в настоящее время при построении полигонометрических ходов используются, в основном, электронные тахеометры, то точность угловых и линейных измерений можно определить средними квадратическими погрешностями измерения углов ( $m_{\beta}$ ) не грубее 10" и сторон ( $m_s$ ) 2-3 см. В связи с

этим изменяются и требования к основным показателям и характеристикам полигонометрических ходов, которые приведены в таблице 11 [3].

Таблица 11

Показатели и характеристики теодолитных ходов

Название показателей, характеристик	Значение параметра, соответствующее точности работ, при составлении топографических планов							
	Масштаб 1:500		Масштаб 1:1000		Масштаб 1:2000		Масштаб 1:5000	
	Городская незастроенная		Городская незастроенная		Городская незастроенная		Городская незастроенная	
	Средняя длина стороны хода, м							
	200	100	500	200	500	200	500	200
Предельная длина хода, в км:								
- отдельного между двумя исходными пунктами;	<u>1,8</u> 2,0	<u>1,3</u> 1,5	<u>2,5</u> 3,2	<u>2,5</u> 2,8	<u>6,0</u> 7,5	<u>5,0</u> 6,5	<u>9,0</u> 12,0	<u>6,0</u> 8,0
- между исходными пунктами и узловой точкой;	<u>1,5</u> 1,8	<u>1,2</u> 1,4	<u>2,8</u> 3,0	<u>2,0</u> 2,5	<u>4,5</u> 5,5	<u>4,0</u> 5,0	<u>6,0</u> 8,0	<u>4,5</u> 7,0
- между двумя узловыми точками	<u>1,2</u> 1,5	<u>1,0</u> 1,2	<u>2,5</u> 2,8	<u>2,0</u> 2,3	<u>4,0</u> 4,5	<u>3,5</u> 4,0	<u>5,0</u> 7,0	<u>3,5</u> 6,0
Предельный периметр полигона	<u>4,0</u> 4,5	<u>3,0</u> 4,0	<u>8,5</u> 9,5	<u>7,0</u> 7,5	<u>15,0</u> 18,0	<u>12,0</u> 15,0	<u>37,0</u> 45,0	<u>30,0</u> 37,0
Число сторон, не более:	<u>9</u> 12	<u>13</u> 15	<u>10</u> 12	<u>14</u> 16	<u>18</u> 20	<u>25</u> 28	<u>20</u> 25	<u>27</u> 30
- в ходе;								
- в периметре	<u>15</u> 20	<u>30</u> 40	<u>20</u> 25	<u>35</u> 45	<u>37</u> 45	<u>52</u> 68	<u>90</u> 100	<u>95</u> 100

### 3.2. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Целью работы является оценка графического проекта теодолитного хода, проложенного по граничным точкам участка. Эта оценка сводится к определению показателей и характеристик хода для сравнения их с соответствующими показателями и характеристиками, приведенными в таблице 11, а также предрасчету точности положения наиболее «слабого» пункта (межевого знака) хода.

Исходными данными являются:

- схема хода заданного масштаба, опирающегося на два исходных пункта (рис. 11);
- масштаб кадастровой съемки участка;
- средние квадратические погрешности измерения углов ( $m_\beta$ ) и длин сторон ( $m_s$ ) хода.

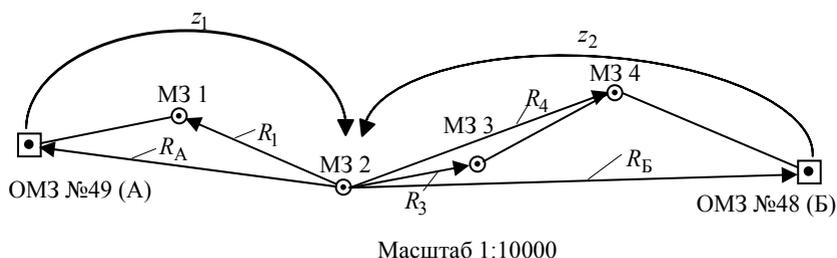


Рис. 11. Схема теодолитного хода

### 3.3. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОГО ХОДА

По схеме хода определяют число его сторон, длину каждой стороны и хода в целом. Вычисляют среднюю длину сторон. Полученные параметры хода сравнивают соответствующими допустимыми параметрами, приведенными в таблице 11, которые определяют по

значению длины сторон проектируемого хода и масштабу предстоящей съемки участка (табл. 12).

Таблица 12

Параметры проектируемого хода и их допустимые значения

Проектируемый ход				Допустимые значения для съемки участка в масштабе 1:500		
№№ вершин хода	Длины сторон, м	Число сторон	Средняя длина сторон, м	Средняя длина сторон, м	Число сторон, не более	Предельная длина хода, м
А	205					
МЗ 1	305					
МЗ 2	220	5	245	200	9	1800
МЗ 3	215					
МЗ 4	280					
Б						
Σ	1225					

По данным таблицы 12 делают выводы:

- длина проектируемого хода не превышает (превышает) допустимое значение;
- число сторон не превышает (превышает) допустимое значение.

### 3.4. ПРЕДРАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ХОДА

Для предрасчета точности построения отдельных теодолитных ходов можно воспользоваться приближенным способом выборочной оценки положения наиболее слабого пункта. Очевидно, что самым слабым будет тот пункт хода, который наиболее удален от исходных пунктов, т.е. расположен ближе всех других к середине хода. Данные для выбора наиболее слабого пункта целесообразно представить в виде таблицы.

Как видно из таблицы 13, в приведенном примере ближе всех к середине хода расположен межевой знак МЗ 2. Чтобы оценить точность положения этого знака, направляем к нему два висячих хода  $z_1$  и  $z_2$  (см. рис. 11). Средняя квадратическая погрешность положения конечного пункта висячего хода определяется по формуле

$$m^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [R^2] + nm_s^2, \quad (3.1)$$

где  $m_{\beta}$  - средняя квадратическая погрешность измерения угла;  $\rho = 206265''$  – число секунд в радиане;  $R$  - расстояние от оцениваемого пункта до каждого пункта висячего хода;  $m_s$  - средняя квадратическая погрешность измерения сторон;  $n$  - число сторон висячего хода.

Таблица 13

№№ вершин хода	Расстояния от начала хода, м	Длина сторон, м	Расстояния от середины хода, м
А	0		612
МЗ 1	205	205	407
МЗ 2	510	305	102
Середина хода	612	220	0
МЗ 3	730	215	118
МЗ 4	945	280	333
Б	1225		613

Значения погрешностей  $m_{\beta}$  и  $m_s$  определены в задании. Во всяком случае, как было указано выше, они не должны превышать соответственно  $10''$  и 3 см. Расстояния  $R$  измеряют по схеме хода (рис. 11) с точностью до 1 мм (в масштабе 1:10000 – 10 м на местности). Значения  $R$  целесообразно выразить в км (таблицы 14, 15).

Тогда, принимая  $\rho = 2,06''$ , конечный результат вычисления по формуле (3.1) будет получен в квадратных сантиметрах. В итоге, принимая  $m_{\beta} = 10''$  и  $m_{\gamma} = 3$  см, имеем:

- для висячего хода  $z_1$   $m_1^2 = \frac{10^2}{2,06^2} \cdot 0,33 + 2 \cdot 3^2 = 25,78$  см<sup>2</sup>,  $m_1 = 5,1$  см;

- для висячего хода  $z_2$   $m_2^2 = \frac{10^2}{2,06^2} \cdot 0,71 + 3 \cdot 3^2 = 50,56$  см<sup>2</sup>,  $m_2 = 7,1$  см.

Таблица 14

Пункт	$R$ , км	$R^2$ , км <sup>2</sup>
А	0,49	0,24
МЗ 1	0,30	0,09
$\Sigma$		0,33

Таблица 15

Пункт	$R$ , км	$R^2$ , км <sup>2</sup>
Б	0,69	0,48
МЗ 4	0,43	0,18
МЗ 3	0,22	0,05
$\Sigma$		0,71

Окончательную среднюю квадратическую погрешность положения слабого пункта МЗ 2 определяют по формуле

$$m = \frac{m_1 m_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}. \quad (3.2)$$

В нашем примере

$$m = \frac{5,1 \cdot 7,1}{\sqrt{25,78 + 50,56}} = 4,1 \text{ см.}$$

Для масштаба плана 1:500 допустимое значение средней квадратической погрешности положения межевых знаков относительно исходных пунктов не должно превышать 5 см (0,1 мм в масштабе плана). Следовательно, проектируемый теодолитный ход по всем показателям может быть использован для определения положения межевых знаков земельного участка.

## РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по межеванию земель. Комитет Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству. – М.: Роскомзем, 1996.
2. Неумывакин Ю.К., Перский М.И. Геодезическое обеспечение землеустроительных и кадастровых работ: Справ. пособие. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1996.
3. Руководство по математической обработке геодезических сетей и составлению каталогов координат и высот пунктов в городах и поселках городского типа. ГКИНТ -06-233-90. М.: ГУГК СССР, 1990.
4. СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96». Введен 01.07.2012 г. М.: Минрегион России, 2013.
5. СП 11-104-97. Свод правил «Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Основные положения». Введен 01.01.1998 г. Госстрой России. М.:ПНИИИС. Госстрой России, 1997.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Работа 1. Привязка теодолитного хода к стенным знакам городской полигонометрии.....	3
1.1. Общие сведения.....	3
1.2. Привязка теодолитного хода к одинарным стенным знакам.....	5
1.3. Привязка теодолитного хода к парным стенным знакам.....	10
Работа 2. Вертикальная планировка территорий.....	14
2.1. Общие сведения.....	14
2.2. Составление картограммы земляных работ горизонтальной площадки.....	15
2.3. Составление картограммы земляных работ наклонной площадки.....	21
Работа 3. Оценка графического проекта теодолитного хода.....	24
3.1. Общие сведения.....	24
3.2. Цель и содержание работы.....	26
3.3. Оценка параметров проектируемого хода.....	26
3.4. Предрасчет точности проектируемого хода.....	27
Рекомендуемый библиографический список.....	30

**ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ**  
**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**  
**НА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов бакалавриата направления 21.03.02*

Сост. *В.Г. Потюхляев*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
инженерной геодезии

Ответственный за выпуск *В.Г. Потюхляев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 14.05.2019. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,7. Усл.кр.-отт. 1,7. Уч.-изд.л. 1,4. Тираж 50 экз. Заказ 437. С 169.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2