

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

Кафедра инженерной геодезии

ГЕОДЕЗИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019

УДК 528 (073)

ГЕОДЕЗИЯ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *М.Е. Скачкова, А.И. Казанцев*. СПб, 2019. 27 с.

Предложен комплекс практических работ с необходимыми исходными данными и стандартными формами для их выполнения в рамках изучения базовых разделов геодезии «Основные сведения о геодезии», «Линейно-угловые измерения», «Горизонтальная съемка местности», «Нивелирование».

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», а также могут быть рекомендованы для иных специальностей и направлений подготовки.

Научный редактор доц. *А.А. Боголюбова*

Рецензент проф. *М.Я. Брынь* (Петербургский государственный университет путей сообщения)

ВВЕДЕНИЕ

Представленные методические разработки для выполнения практических заданий являются неотъемлемой частью учебно-методического комплекса по дисциплине «Геодезия», составлены на основе рабочей программы учебной дисциплины, реализуемой в соответствии с ФГОС ВО по специальности 21.05.04 «Горное дело».

В результате освоения программы по дисциплине «Геодезия» у студента должны сформироваться определенные федеральным образовательным стандартом компетенции. Некоторые профессиональные компетенции и основные показатели освоения дисциплины представлены в табл.1.

Таблица 1

Планируемые результаты обучения по дисциплине «Геодезия»

Формируемые компетенции по ФГОС ВО	Основные показатели освоения дисциплины
Содержание компетенции	
Умение определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты (ПК-7)	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теоретические основы о геодезических сетях различных видов и назначений, а также об основных средствах и методах определения координат и высот пунктов местности и пикетов; - особенности геодезической приборной базы, методы геодезических измерений, принципы обработки результатов измерений и создания планово-картографических материалов; - теоретические положения об ошибках измерений, а также методы контроля геодезических измерений; - технику безопасности при производстве геодезических работ
	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - решать геодезические и топографические задачи по определению координат и высот точек, направлений, длин линий; - создавать съемочное обоснование по результатам полевых геодезических работ; - формировать планово-картографический материал по результатам полевых и камеральных работ
	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками работы с геодезическими приборами, а также с топографическими картами и планами; - навыками использования нормативных, правовых и инструктивных документов в области топографо-геодезических работ; - навыками полевых и камеральных работ при определении координат и высот геодезических пунктов местности и пикетов
Готовность участвовать в исследованиях объектов профессиональной деятельности и их структурных элементов (ПК-14)	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные методы и приборы научных исследований в области геодезии и топографии; - методы математической обработки и анализа результатов геодезических экспериментальных измерений для решения профессиональных инженерных задач;
	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выполнять экспериментальные и лабораторные исследования, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты о выполненных работах; - применять критерии сравнения для обоснования степени точности конечного результата
	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками и методами работы с геодезическими приборами и планово-картографическим материалом; - навыками критической оценки и обработки выполненных геодезических измерений при решении производственных задач

1. МАСШТАБЫ

Для работы необходимо иметь: карандаши твердости Т и 2Т; резинку; масштабную линейку; циркуль-измеритель.

Исходные данные для выполнения задания приведены в приложении 1. Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнале учета посещаемости учебных занятий группы.

Задача 1. Дана длина отрезка на карте и соответствующего ему горизонтального отрезка местности. Необходимо определить численный масштаб карты.

Решение заключается в определении знаменателя M численного масштаба путём деления длины отрезка местности на его длину на карте.

Задача 2. Дан численный масштаб, необходимо построить соответствующий ему нормальный линейный масштаб и определить его цену деления. При его вычерчивании подписать значения оснований, крайнее левое основание поделить на n равных частей.

Задача 3. Дан численный масштаб, необходимо построить соответствующий ему нормальный сотенный поперечный масштаб и определить его цену деления и точность.

Для решения задачи необходимо по заданному численному масштабу $1:M$ установить: длину t'' отрезка местности, соответствующего основанию a поперечного масштаба; цену наименьшего деления t' его основания и цену наименьшего деления поперечного масштаба t по формулам (1):

$$t'' = \frac{a \cdot M}{100}; \quad t' = \frac{t''}{m}; \quad t = \frac{t'}{n} \quad (1)$$

Поскольку речь идёт о нормальном сотенном поперечном масштабе, у которого: $a = 2$ см, $m = n = 10$, то $t'' = 0.02 \cdot M$, $t' = 0.1 \cdot t''$, $t = 0.1 \cdot t'$

Точность T линейного масштаба в метрах определяется по формуле 2:

$$T = \frac{a}{10m} \cdot \frac{M}{100} \quad (2)$$

Точность T поперечного масштаба в метрах определяется по формуле 3:

$$T = \frac{a}{2m \cdot n} \cdot \frac{M}{100} \quad (3)$$

Задача 4.

Используя масштабную линейку и циркуль-измеритель, отложить отрезки местности на бумаге в заданных масштабах при условии, что длины их известны.

Задача 5.

Используя масштабную линейку и циркуль-измеритель определить длины отрезков местности S , изображенные на бумаге в заданных масштабах. Искомая длина S в метрах, отложенная на масштабной линейке, находится из соотношения:

$$S = k_1 t'' + k_2 t' + k_3 t \quad (4)$$

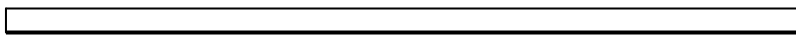
где k_1 – число полных оснований между концами отрезка на масштабной линейке, k_2 – число целых делений на левом основании, k_3 – количество интервалов между нижней горизонтальной линией и линией на которой расположился отрезок (берётся с точностью до половины интервала).

На масштабной линейке отрезки откладываются циркулем-измерителем так, чтобы игла его правой ножки опиралась на одну из вертикальных линий, левой – на одну из трансверселей. То есть кончики иглол циркуля-измерителя располагают параллельно горизонтальным линиям масштабной линейки.

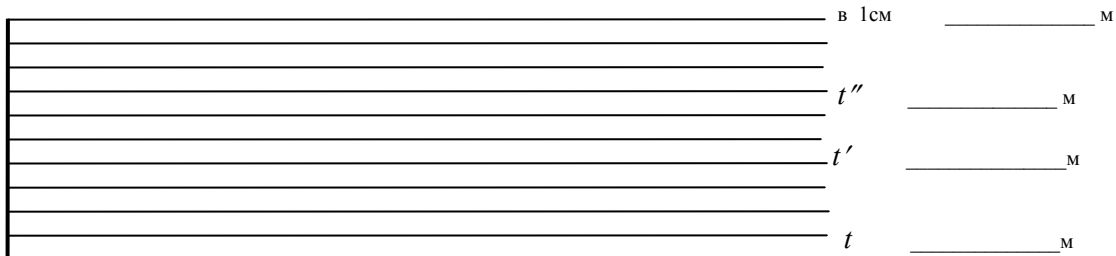
Раствор измерителя должен быть либо равен отрезку, длина которого измеряется, либо определен по формуле, если его требуется отложить на бумаге. Во втором случае: k_1 равно целому от дроби S/t'' ; k_2 – равно целому от деления первого остатка на t' ; k_3 – это результат деления второго остатка на t , взятый с точностью до 0.5.

1. Написать численный масштаб плана, если отрезок длиной _____ на плане соответствует _____ горизонтального проложения линии местности. **ОТВЕТ** 1: _____.

2. Для численного масштаба _____ построить и подписать нормальный линейный масштаб ($a = 2$ см). $n =$ _____ $a \rightarrow$ _____ м
 $\frac{a}{n} \rightarrow$ _____ м



3. Для численного масштаба _____ построить и подписать нормальный сотенный поперечный масштаб ($a = 2$ см $n = 10$; $m = 10$).



По пунктам заданий 1, 2 и 3 вычислить точность: численного масштаба $T =$ _____ м

линейного масштаба $T =$ _____ м

поперечного масштаба $T =$ _____ м.

Общая формула длины линии для поперечного масштаба $S = k_1 t'' + k_2 t' + k_3 t$

4. Отложить на бумаге с помощью нормального сотенного поперечного масштаба
 - в масштабе 1: _____ два отрезка: $S_1 =$ _____ м; $S_2 =$ _____ м;



- в масштабе 1: _____ два отрезка: $S_3 =$ _____ м; $S_4 =$ _____ м;



5. Измерить с помощью нормального сотенного поперечного масштаба отрезки

- в масштабе 1: _____



- в масштабе 1: _____



По пунктам заданий 4 и 5 заполнить таблицу.

МАСШТАБ	t'' , м	t' , м	t , м	Номер отрезка	k_1	k_2	k_3	Длина линии S , м
1: _____	_____	_____	_____	1				
				2				
				5				
				6				
1: _____	_____	_____	_____	3				
				4				
				7				
				8				

2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

Для выполнения работы необходимо получить карту масштаба 1:10 000 (1:25 000).

Работа оформляется на листе кальки формата А4, который, при необходимости, накладывают на карту для копирования её элементов (координатных линий, горизонталей и т.п.). Выполняют её с помощью линейки длиной не менее 40 см, циркуля-измерителя, мягкого карандаша и транспортира. Расчёты, выполняемые в процессе решения задач, при оформлении работы на кальке не приводятся.

Задача 1. Определение прямоугольных координат X и Y заданной точки A .

Для решения задачи на кальку наносят заданную точку A и квадрат километровой сетки, в котором она расположена. По оцифровке карты определяют координаты X_0, Y_0 юго-западного угла квадрата. Опускают перпендикуляры из точки A на левую и нижнюю стороны квадрата (приращения координат ΔX и ΔY). Последовательно циркулем-измерителем откладывают и по линейному масштабу карты определяют приращения координат ΔX и ΔY , и вычисляют искомые координаты:

$$X = X_0 + \Delta X, \quad Y = Y_0 + \Delta Y \quad (5)$$

Задача 2. Определение геодезических координат B и L заданной точки A .

Для решения задачи на кальке через десятисекундные (одноминутные) интервалы минутной рамки между которыми расположена точка A проводят два меридиана и две параллели. В результате получают десятисекундную (одноминутную) трапецию, внутри которой расположена точка. Используя координаты юго-западного угла карты B_0, L_0 и минутную рамку, определяют и подписывают на кальке широту южной и долготу западной сторон трапеции. Оценивают «на глаз» с точностью до 0,1 приращение координат ΔB между точкой и южной рамкой трапеции (приращение определяют с точностью 1"). Аналогично определяют значение отрезка ΔL , но использовать следует западную рамку трапеции. Геодезическую широту B и долготу L точки A вычисляют по формулам:

$$B = B_0 + k_1 + \Delta B, \quad L = L_0 + k_2 + \Delta L, \quad (6)$$

где B_0, L_0 координаты юго-западного угла карты; k_1 – число десятисекундных (одноминутных) отрезков между указанным углом и южной стороной трапеции вдоль меридиана, k_2 – число десятисекундных (одноминутных) отрезков между указанным углом и западной стороной трапеции вдоль параллели; ΔB и ΔL – приращения координат.

Задача 3. Определение абсолютной высоты точки.

Для определения высоты на кальку переносят заданную на карте точку и горизонталь, между которыми она располагается. Исходя из принятой высоты сечения рельефа h , направления ската и подписанных на карте высотных отметок находят высоты горизонталей. Определяют «на глаз» кратчайшее расстояние d между смежными горизонталями, называемое заложением, и отрезок d' от точки до горизонтали с наименьшей высотной отметкой H_0 .

Искомую высоту H точки A вычисляют по формуле:

$$H = H_0 + h d' / d, \quad (7)$$

Задача 4. Измерение крутизны ската.

Характеристикой крутизны ската является угол наклона. Его определяют для заложения, используемого в задаче 3. Угол наклона ν определяется двумя способами: графическим и математическим. В первом случае с карты на кальку переносится график, называемый масштаб заложений. На нем с помощью циркуля-измерителя откладывается заложение. При этом одна иглолка циркуля-измерителя устанавливается на горизонтальную ось графика, а другая должна попасть на сам график (отрезок заложения должен быть расположен параллельно вертикальной оси графика). По отметкам горизонтальной оси графика определяется угол наклона с точностью до 0,1'.

Математический способ определения угла наклона заключается в его вычислении по формуле (8):

$$v = \operatorname{arctg} \frac{h}{d} \approx \frac{h}{d} \cdot \rho^\circ, \quad (8)$$

где: $\rho^\circ = 57,3$ - количество градусов в одном радиане.

Результаты, полученные двумя способами, должны совпадать.

Задача 5. Построение профиля.

Для построения вертикального профиля на карте выбирается отрезок, который переносится на кальку в масштабе карты (горизонтальный масштаб профиля). Отрезок на кальке ориентируют горизонтально. Также на отрезке фиксируются места его пересечения с горизонталями, высотные отметки которых подписываются. Из левого конца отрезка вниз опускают ось абсцисс, которая соответствует изменению высотных отметок. Вертикальный масштаб профиля подбирается так, чтобы профиль был нагляден. Таким образом, горизонтальный масштаб профиля соответствует масштабу карты, вертикальный подбирается (1:500, 1:1000, 1:2000). Далее ось абсцисс оцифровывается в соответствии с выбранным вертикальным масштабом. Максимальная отметка по высоте проставляется сверху (рядом с нанесенным отрезком). Минимальная высота фиксирует нижний предел профиля. В заключение из точек с высотными отметками на отрезке опускают перпендикуляры вниз. Вторым перпендикуляром влево их соединяют с соответствующей высотной отметкой на оси абсцисс. Точки, полученные при пересечении перпендикуляров, соединяют плавной линией профиля.

Задача 6. Определение астрономического азимута A линии.

Для определения астрономический азимут A заданную на карте линию переносят на кальку. Через её начало линейкой проводят отрезок, параллельный меридиану. Для этого можно использовать меридиан, проходящий через концы ближайших минутных (или десятисекундных) отрезков минутной рамки. В завершении транспортиром измеряют полученный угол.

Задача 7. Определение дирекционного угла α линии.

Действия при его определении аналогичны описанным в задаче 6, но измерения следует выполнять относительно любой вертикальной линии километровой сетки, пересекающей заданное направление.

Задача 8. Определение склонения магнитной стрелки на текущий год и магнитного азимута A_M линии.

На карте под южной рамкой слева дается схема исходных направлений, где приведены сближение меридианов γ и склонение магнитной стрелки δ , а так же текст с указанием года определения склонения и значения его годового изменения. Используя эти данные необходимо вычислить δ на текущий год.

Магнитный азимут A_M вычисляется по формуле (9), если измерен астрономический азимут или дирекционный угол.

$$A_M = A - \delta = \alpha - \Pi. \quad (9)$$

Горный
университет
_____ год

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО
ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ**
Вариант № _____

гр. _____

(ФИО)

* К данному листу прикрепляется калька с выполненными заданиями

3. ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА ПЛОСКОСТИ

Прямая геодезическая задача – это вычисление прямоугольных координат некоторой точки по известным координатам другой, горизонтальному проложению L_{AB} между точками и дирекционному углу α_{AB} (рис.1).

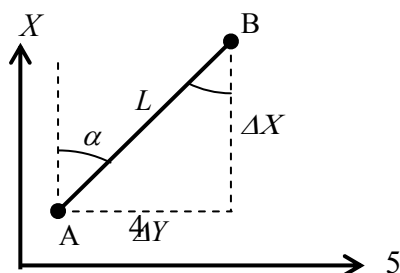


Рис. 1. Решение обратной геодезической задачи

Задача решается по формулам (10)-(11).

$$\Delta X = L \cdot \cos \alpha_{AB}; \quad \Delta Y = L \cdot \sin \alpha_{AB}; \quad (10)$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X; \quad Y_2 = Y_1 + \Delta Y; \quad (11)$$

Обратная геодезическая задача – это вычисление дирекционному углу α_{AB} и длины отрезка L_{AB} между двумя точками, прямоугольные координаты которых известны.

Для решения обратной геодезической задачи разработаны два алгоритма.

В **первом алгоритме** обратная геодезическая задача решается через арктангенс в следующей последовательности.

Пусть у точек A и B известны координаты X_A, Y_A и X_B, Y_B . Требуется определить расстояние L между ними и дирекционный угол $\alpha_{A,B}$ направления с точки A на точку B .

Из прямоугольного треугольника (рис.1) имеем:

$$1. \quad \Delta X = X_B - X_A \text{ и } \Delta Y = Y_B - Y_A; \quad (12)$$

$$2. \quad \text{tg}(r_{AB}) = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|; \quad (13)$$

где r_{AB} - румб, острый угол между северным (или южным) исходным направлением и данным направлением.

$$3. \quad r_{AB} = \text{arctg} \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|. \quad (14)$$

Название румба определяется в зависимости от того в какой четверти находится данная линия. Четверть определяется по знакам ΔX , ΔY .

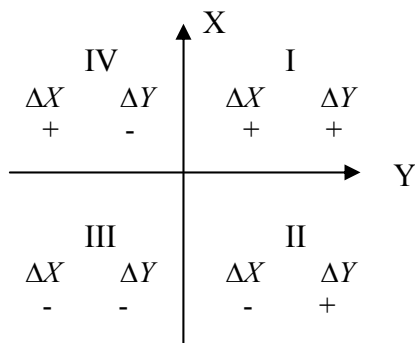


Рис. 2. Определение четверти по знакам приращений

4. Дирекционный угол линии AB вычисляется с учетом четверти, в которой находится данная линия (рис.2). Формулы для вычисления дирекционного угла линии по румбу следующие:

Первая четверть: $\alpha_{AB} = r_{AB}$ (название румба СВ);

Вторая четверть: $\alpha_{AB} = 180^\circ - r_{AB}$ (название румба ЮВ);

Третья четверть: $\alpha_{AB} = 180^\circ + r_{AB}$ (название румба ЮЗ);

Четвертая четверть: $\alpha_{AB} = 360^\circ - r_{AB}$ (название румба СЗ).

5. Длина линии вычисляется по формуле:

$$L_{AB} = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \quad (15)$$

и контролируется по формулам:

$$L_{AB} = \frac{\Delta X}{\text{Cos}\alpha_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\text{Sin}\alpha_{AB}}. \quad (16)$$

Во **втором алгоритме** задача решается через арккосинус по формулам:

$$S_{AB} = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}; \quad (17)$$

$$\text{Cos}(a') = \frac{\Delta X}{S_{AB}}; \quad a' = \text{arcCos} \frac{\Delta X}{S_{AB}}; \quad (18)$$

если $\Delta Y > 0$, то $\alpha = a'$;

если $\Delta Y < 0$, то $\alpha = 360^\circ - a'$.

Решение обратной геодезической задачи (1-й алгоритм)

№	Обозначения	Вычисления
3	X_B (м)	
1	X_A	
5	$X_B - X_A$	
13	$L = (5) / (11)$	
11	$\text{Cos } \alpha$	
7	$\text{tg } r = (6) / (5)$	
8	r (десятичная форма)	
8'	r (° ' "), (четверть)	
9	$\alpha =$	
10	$\text{Sin } \alpha$	
12	$L = (6) / (10)$	
4	Y_B (м)	
2	Y_A	
6	$Y_B - Y_A$	
14	$(X_B - X_A)^2$	
15	$(Y_B - Y_A)^2$	
16	$L^2 = (14) + (15)$	
17	$L = \sqrt{(16)}$	

Решение обратной геодезической задачи (2-й алгоритм)

№	Обозначения	Вычисления
3	X_B	
1	X_A	
5	$X_B - X_A$	
11	$\text{Cos } a' = (5) / (10)$	
12	a' (десятичная форма)	
12'	a'	
13	$\alpha = [360^\circ - a']$ или $\alpha = a'$	
4	Y_B	
2	Y_A	
6	$Y_B - Y_A$	
7	$(X_B - X_A)^2$	
8	$(Y_B - Y_A)^2$	
9	$L^2 = (7) + (8)$	
10	$L = \sqrt{(9)}$	

Решение прямой геодезической задачи

№	Обозначения	Вычисления
1	X_A	
2	Y_A	
3	L	
4	α	
5	$\text{Cos } \alpha$	
6	$L * \text{Cos } \alpha = (3) * (5)$	
7	$\text{Sin } \alpha$	
8	$L * \text{Sin } \alpha = (3) * (7)$	
9	$X_B = (1) + (6)$	
10	$Y_B = (2) + (8)$	

4. ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЕЙ

Рельефом местности называется совокупность неровностей земной поверхности. Несмотря на то, что существует бесконечное разнообразие форм рельефа, выделяет только пять его основных форм: выпуклая форма (гора, холм), замкнутое углубление (котловина, яма), хребет, вытянутое углубление (долина, лощина, овраг), седловина (перевалы в горах)

Для того чтобы изобразить рельеф местности на топографических картах используется способ горизонталей в сочетании с отметками характерных точек.

Горизонталь можно представить, как линию пересечения физической поверхности земли с уровенной поверхностью (горизонтальной плоскостью, если участок невелик). В результате образуется замкнутая кривая, все точки которой расположены на одной высоте над уровнем моря. Таким образом, **горизонталь есть геометрическое место точек, имеющих одинаковые высоты**. Проекцию горизонтали на уровенную поверхность, а также ее изображение на карте тоже называют горизонталями.

Для изображения рельефа необходимо выполнить сечение поверхности участка местности несколькими уровенными поверхностями, расположенными через равные интервалы. *Расстояние h между двумя смежными поверхностями называется **высотой сечения рельефа***. Чем меньше эта величина, тем точнее и подробнее изображается рельеф местности. Выбор h зависит от масштаба составляемой карты и требований к точности отображения рельефа. Горизонтالي обладают следующими очевидными свойствами:

-это плавные непрерывные линии, повторяющие очертания друг друга и прерывающиеся только на обрывах;

-они не пересекаются между собой;

-горизонтали пересекают водоразделы и тальвеги только под прямым углом;

-их высоты должны быть кратны высоте сечения рельефа.

На планах каждую пятую горизонталь утолщают и подписывают их высоты так, чтобы верх цифр был направлен в сторону подъема. Для того, чтобы легче было отличать лощины от хребтов, ямы от холмов, а также определять направление скатов, применяют **бергштрихи**.

При углах наклона более 45° горизонтали не проводят, а для изображения обрывов, оврагов, ям и т.д. используют условные знаки.

Работа выполняется на листе с изображением заданного участка местности. В качестве исходных данных выступают: высотные отметки пикетов на местности и высота сечения рельефа.

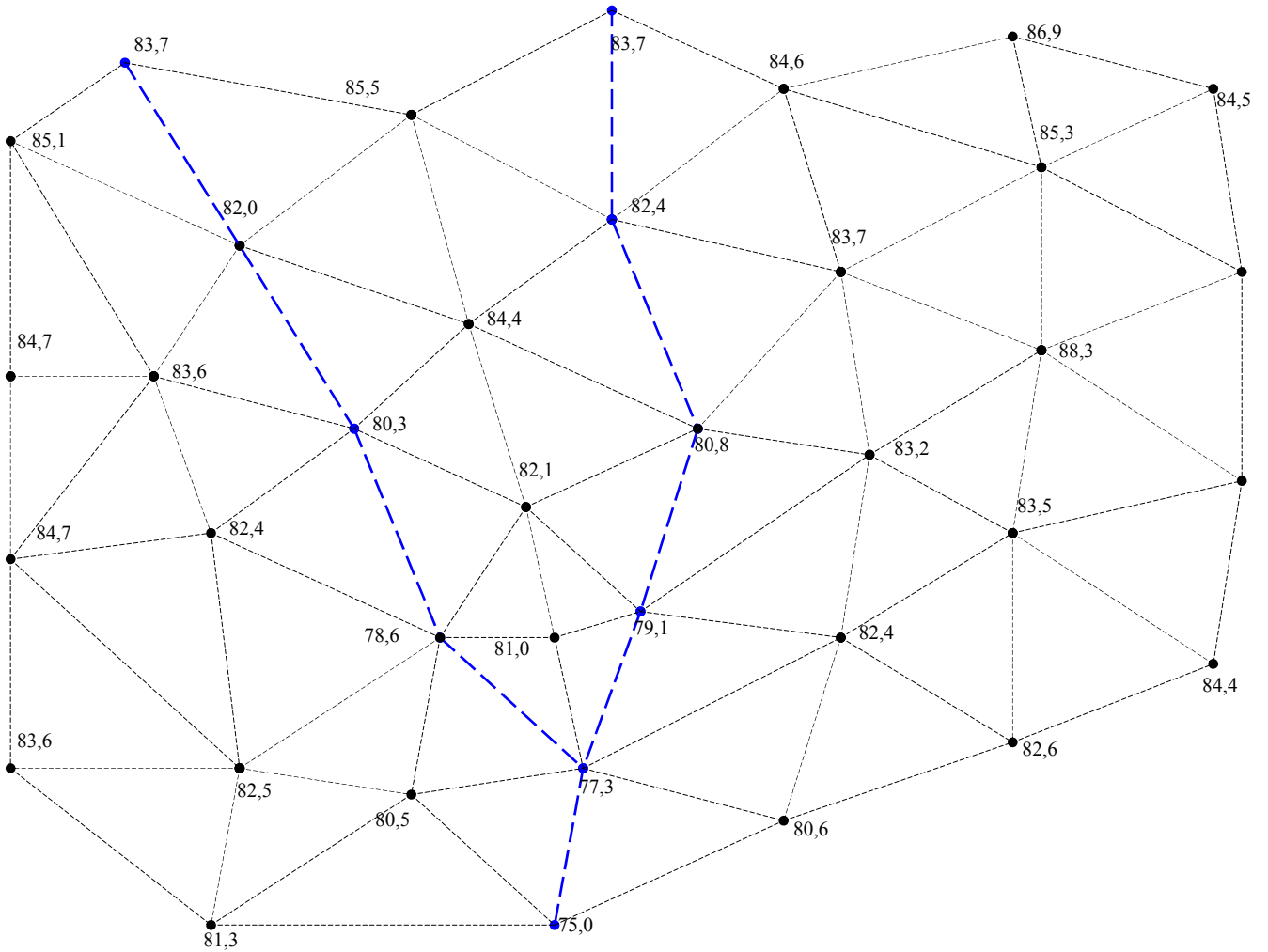
В задании необходимо выполнить интерполирование между высотными отметками смежных пикетов. Его задача – найти в створе между пикетами точки, высоты которых кратны высоте сечения рельефа. Точки наносят методом «на глаз», при этом расстояния должны быть пропорциональны (рис. 3). Точки, имеющие одинаковые отметки, соединяют между собой плавными кривыми и получают горизонтали.



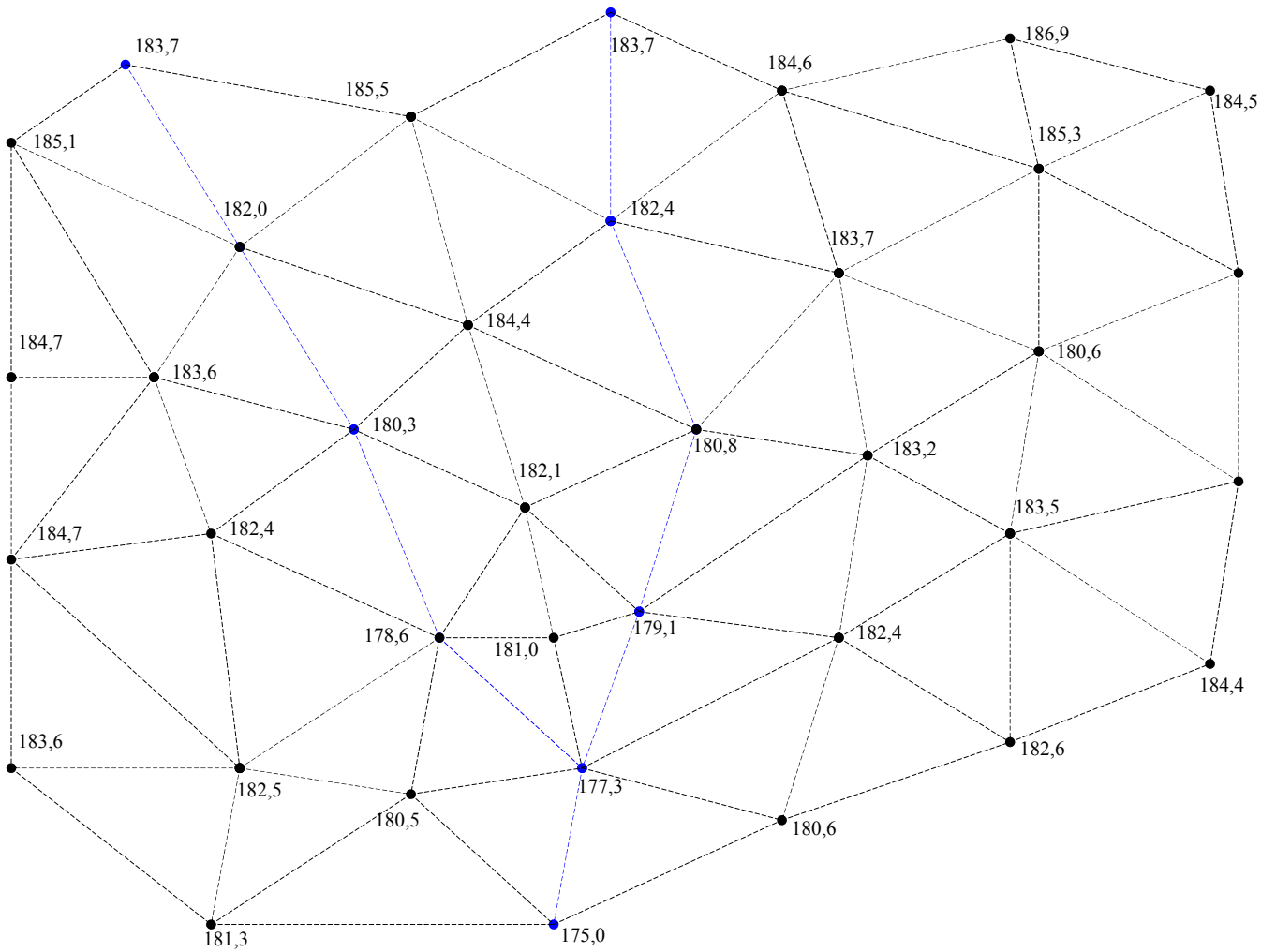
Рис. 3. Метод интерполирования «на глаз»

После нанесения горизонталей выполняется их укладка: убираются угловатости, уточняется интерполирование, стираются резинкой ненужные штрихи, записи, линии и т.д. Следует добиваться, чтобы горизонтали по форме и расположению гармонизировали друг с другом, а рельеф был «красивым». В результате должен получиться вертикальный план заданного участка местности.

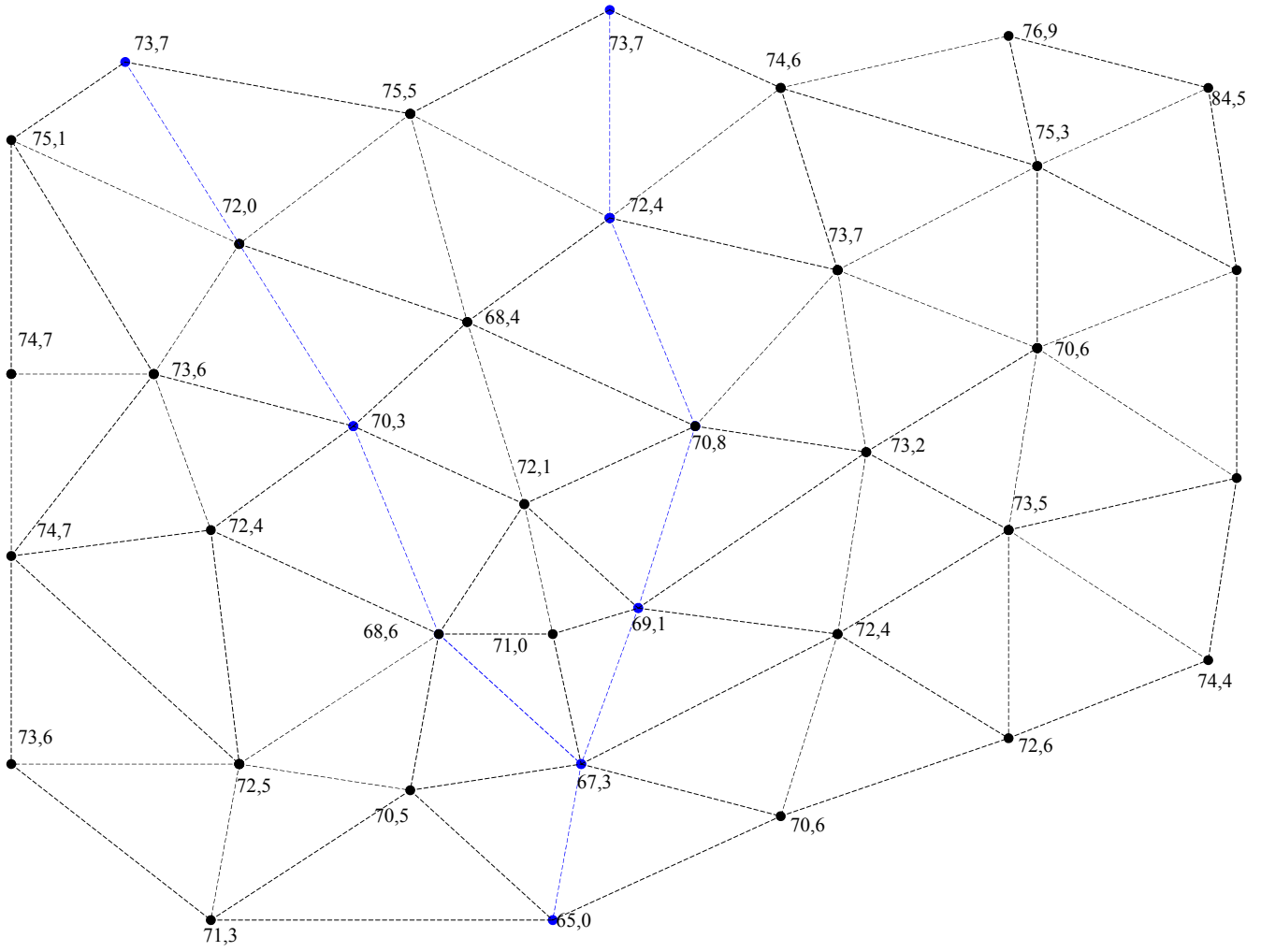
Оформление вертикального плана выполняется черной гелиевой ручкой. Горизонтали, кратные 5 метрам, подписываются и утолщаются. Верх цифр должен указывать на подъем. Обязательно проставляются бергштрихи.



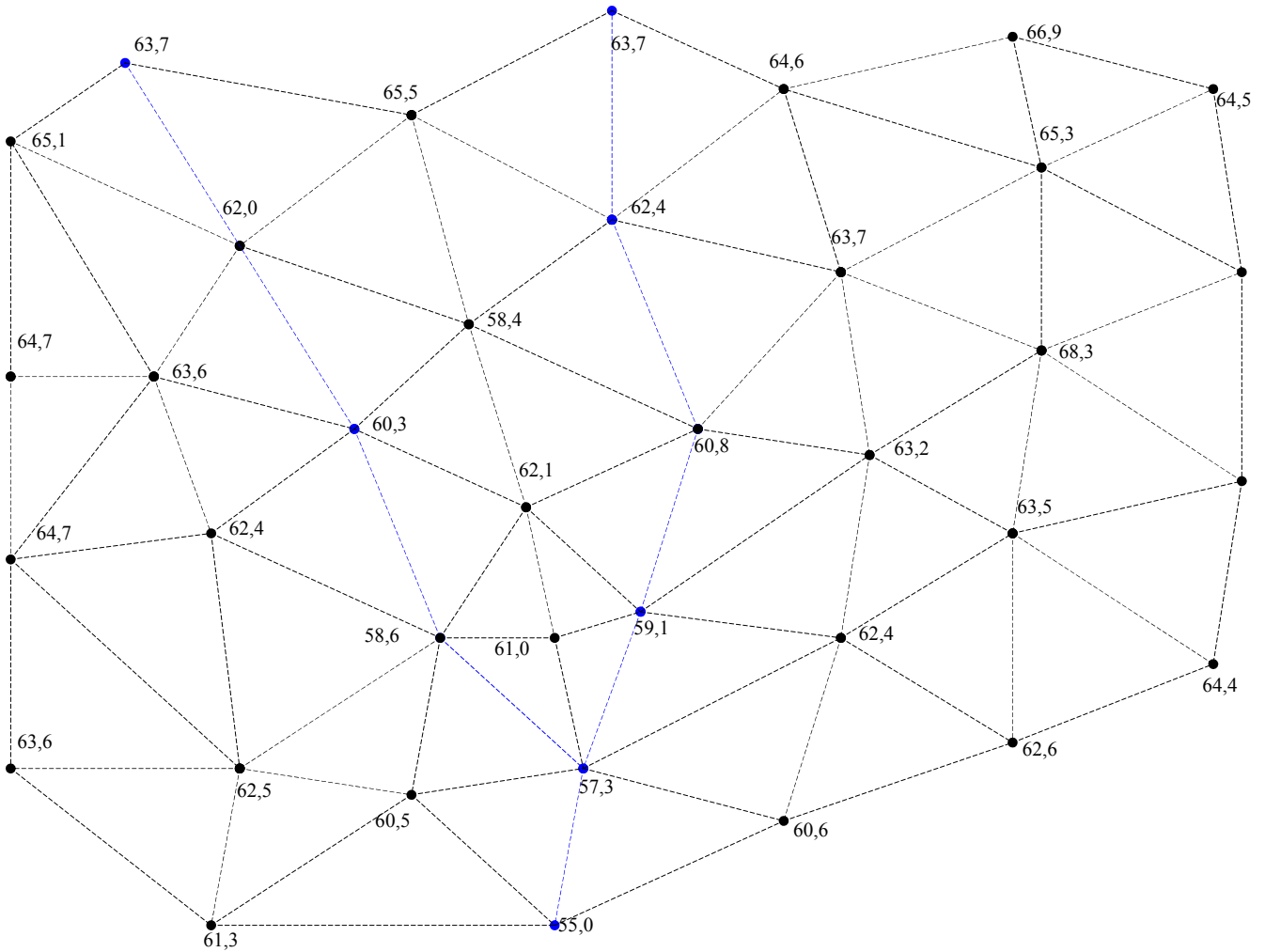
Сечение рельефа 1 метр



Сечение рельефа 1 метр



Сечение рельефа 1 метр



Сечение рельефа 1 метр

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ УЧАСТКОВ НА КАРТЕ

Площади участков можно определить по результатам измерений на картах и на местности. На картах для этого используют палетку или планиметр.

Планиметром называют прибор для измерения площадей. Планиметры бывают электронные и полярные. Наиболее распространен полярный планиметр ПП-М (рис. 4).

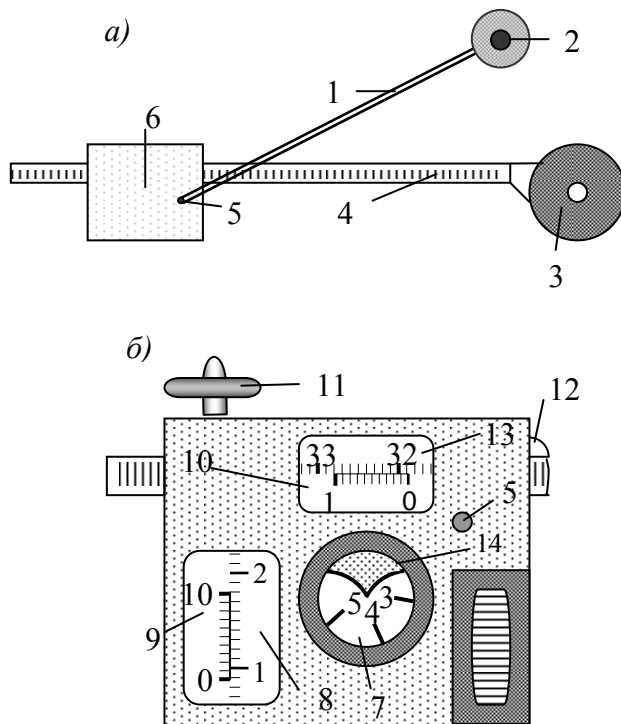


Рис. 4. Полярный планиметр ПП-М: а – общий вид; б – каретка планиметра

Полярный планиметр состоит из двух рычагов: полюсного 1, имеющего постоянную длину, и обводного 4. На одном из концов полюсного рычага закреплен массивный цилиндр с иглой 2 – *полюс планиметра*, на другом конце штифт с шарообразной головкой, который вставляется в гнездо 5 на каретке 6. На конце обводного рычага закреплена лупа 3 с маркой в центре, которой обводят контур измеряемой площади. На другом конце обводного рычага крепится каретка – счётный механизм. Он состоит из барабана 8 с верньером 9 и отсчётного барабана 7, являющегося счётчиком числа оборотов барабана 8. Обводной рычаг опирается на чертёж (карту) ободом барабана 8, роликом 11 и упором индекса. Отсчёт в единицах планиметра ($1/1000$ часть длины дуги окружности барабана 8), получаемый по счётному механизму, состоит из четырёх цифр: первую с помощью индекса в виде стрелки берут по диску барабана 7, вторую и третью – по шкале барабана 8 с помощью нулевого штриха верньера, четвертую – по его совпадающему штриху.

Для определения площади, обводят контур участка, делая при этом два отсчета по планиметру: один m_1 – до обвода, другой m_2 – после обвода. Площадь вычисляют по формуле:

$$S = c \cdot (m_2 - m_1) + Q, \quad (15)$$

где c – цена деления планиметра – это площадь прямоугольника, стороны которого равны одному его делению и длине обводного рычага. Q – постоянная планиметра.

Перед измерением площади цену деления планиметра определяют. При этом, расположив полюс в стороне, обводят участок, площадь $S_{изв}$ которого известна (например, квадрат километровой сетки на карте) и вычисляют цену деления:

$$c = \frac{S_{изв}}{(m_2 - m_1)}, \quad (16)$$

Для определения постоянной Q обводят участок с известной площадью, поместив полюс внутри этого участка, после чего вычисляют постоянную планиметра:

$$Q = \frac{S_{изв}}{c} - (m_2 - m_1), \quad (17)$$

В случае если полюс планиметра располагается за пределами участка, площадь которого необходимо определить, то $Q = 0$.

Для выполнения задания необходимо получить план масштаба 1:2000 и полярный планиметр. Задание состоит из двух частей:

1. Определение цены деления планиметра.

Планиметр устанавливают на плане так, чтобы рычаги располагались под прямым углом при полюсе слева относительно каретки. Лупу устанавливают на один из углов квадрата километровой сетки, а иголку на конце полюсного рычага (полюс) втыкают в бумагу вне измеряемого участка. По счётному механизму планиметра берут начальный отсчёт m_1 . Затем делают обвод участка (квадрат километровой сетки) и после каждого полного оборота берут отсчёты m_2 и m_3 (первый приём). Результаты записывают в журнал (табл.2). Аналогичные действия выполняют в положении полюс справа (второй приём).

Таблица 2

Журнал определения цены деления полярного планиметра № _____

Площадь круга (квадрата) в масштабе 1:2000 = 40000 м² или 4 га

Приём	Отсчёты m_1 m_2 m_3	Разности $m_2 - m_1$ $m_3 - m_2$	Среднее из разностей S	Среднее из приёмов S_{cp}	Цена деления планиметра C, м ² или га		
Полюс слева							
1							
Полюс справа							
2							

Площадь квадрата километровой сетки S в делениях планиметра получают четыре раза (по два - в каждом из приёмов как разность между последующими отсчётами и предыдущими). Причём результаты в приёмах не должны отличаться друг от друга более чем на пять единиц планиметра. Если допуск выполнен, вычисляют S_{cp} , и по формулам (18):

$$C = \frac{100 \cdot M^2 \cdot 10^{-4}}{S_{cp}} \quad \text{и} \quad C = \frac{100 \cdot M^2 \cdot 10^{-8}}{S_{cp}} \quad (18)$$

с точностью до четырёх значащих цифр определяют цену деления планиметра C в квадратных метрах или гектарах. В вышеприведённых формулах M – знаменатель масштаба плана или карты с границами участка, площадь которого определяют.

2. Измерение площади заданного участка.

Перед измерением полярным планиметром, вне измеряемого участка выбирают точку для полюса планиметра так, чтобы при перемещении индекса обводного рычага по контуру

участка, угол между обводным рычагом и полюсным рычагом был не менее 30° и не более 150°. На контуре выбирают исходную точку.

Измерения (табл. 3) выполняют по изложенной выше программе, т.е. двумя приёмами (полюс слева, полюс справа) при трёх отсчётах в каждом на исходной точке.

Площадь S вычисляют в квадратных метрах или гектарах с точностью до четырёх значащих цифр по формуле:

$$S = C \cdot P_{cp} \quad (19)$$

Значащие цифры – все цифры числа, за исключением нулей слева и неверных цифр справа.

Таблица 3

Журнал измерения площади

Приём	Отсчёты m_1 m_2 m_3	Разности $m_2 - m_1$ $m_3 - m_2$	Среднее $p = \frac{m_3 - m_1}{2}$	Среднее из приёмов P_{cp}	$S = C P_{cp}$, м ² ,га		
Полюс слева							
1							
Полюс справа							
2							

6. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА. ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

Обработку материалов наблюдений рассмотрим на примере замкнутого теодолитного хода (рис.5). Вычисления выполняют в ведомости вычисления координат пунктов теодолитного хода. Вначале из полевого журнала выписывают номера пунктов теодолитного хода, средние значения горизонтальных углов и горизонтальные проложения длин сторон хода (в гр.1, 2 и 5). Подсчитывают сумму измеренных горизонтальных углов $\Sigma\beta_{изм}$ (в данном случае они левые по ходу). Её сравнивают с теоретической суммой, которая для внутренних углов замкнутого полигона, содержащего n углов, равна:

$$\Sigma\beta_{теор} = 180^\circ(n-2) \quad (20)$$

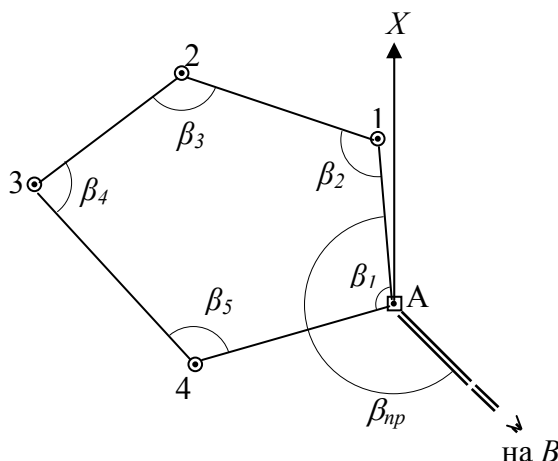


Рис. 5. Схема теодолитного хода

Разность между суммой измеренных углов и теоретической суммой даст значение угловой невязки f_β :

$$f_\beta = \Sigma\beta_{изм} - \Sigma\beta_{теор}, \quad (21)$$

Её сравнивают с допустимой угловой невязкой хода, которую вычисляют по формуле:

$$f_{\beta_{пред}} = 1'\sqrt{n}. \quad (22)$$

Если $f_\beta \leq f_{\beta_{пред}}$, то полученную невязку распределяют поровну во все измеренные углы с точностью до 0,1 со знаком, обратным невязке (вводят поправки). *Поправка* – часть невязки с противоположным знаком. Сумма поправок по абсолютной величине должна быть равна невязке. Если невязка не делится без остатка на число углов хода, то большие поправки вводят в углы опирающиеся на наиболее короткие стороны.

В графу 3 записывают исправленные углы $\beta_{исп}$. Правильность уравнивания углов контролируют также подсчётом суммы углов, исправленных поправками. Она должна равняться *теоретической*.

Далее вычисляют дирекционный угол первой стороны теодолитного хода. Для этого используют дирекционный угол исходной стороны и примычный угол. В частности, из рис.5 видно, что для этого можно воспользоваться следующими соотношениями:

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{A-B} + \beta_{B-1}, \quad (23)$$

Вычисление дирекционных углов последующих сторон теодолитного хода выполняют по формулам:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - \beta_{л} \pm 180^\circ, \quad - \text{ для правых углов,} \quad (24)$$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_{д} \pm 180^\circ, \quad - \text{ для левых углов} \quad (25)$$

Если один из дирекционных углов получился больше 360° , то из его значения вычитают 360° . Если же дирекционный угол получился отрицательным, то к его значению прибавляют 360° . В теодолитном ходе контролем вычисления дирекционных углов его сторон является получение дирекционного угла *первой стороны* (в замкнутом ходе) или *конечной стороны* (в разомкнутом ходе).

Приращения прямоугольных координат вычисляют по формулам:

$$\Delta x = S \cos \alpha; \quad \Delta y = S \sin \alpha. \quad (26)$$

где S – горизонтальное проложение стороны теодолитного хода; α – её дирекционный угол.

Вычисления ведут с точностью до 0,01 м. Знаки приращений соответствуют знакам тригонометрических функций $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$, и в *геодезии указываются обязательно*.

Вычисленные приращения координат записывают в ведомость. Затем их алгебраически суммируют, отдельно Δx и Δy . Для замкнутого хода они являются невязками f_x и f_y соответственно по осям координат X и Y , т.е.:

$$\sum_1^n \Delta x = f_x; \quad \sum_1^n \Delta y = f_y. \quad (27)$$

Качество измерений углов и длин сторон теодолитного хода оценивают по относительной погрешности хода. Для этого вначале вычисляют его абсолютную погрешность:

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (28)$$

и от неё переходят к относительной погрешности:

$$f_{\text{отн}} = f_{\text{абс}} / \sum L, \quad (29)$$

где $\sum L$ – длина хода, м.

Относительная погрешность не должна превышать $1/2\ 000$.

Если допуск выполняется, то в приращения координат вводят поправки v_x и v_y пропорционально длинам сторон:

$$v_x = -f_x l_i / \sum L; \quad v_y = -f_y l_i / \sum L, \quad (30)$$

где l – длина стороны хода, м.

Полученные поправки округляют до сотых долей метра и подписывают их над соответствующими приращениями.

Контроль: сумма поправок должна быть равна невязке с обратным знаком.

Затем вычисляют исправленные приращения, сумма которых по каждой оси должна быть равна нулю:

$$\sum \Delta x_{\text{испр}} = 0; \quad \sum \Delta y_{\text{испр}} = 0. \quad (31)$$

По исправленным приращениям определяют координаты пунктов теодолитного хода по формулам:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{i_{\text{исп}}}, \quad (32)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_{i_{\text{исп}}}, \quad (33)$$

Контроль - получение координат *исходного пункта*, от которого и начинали вычисления.

По вычисленным координатам строится схема съемочного обоснования на плотной бумаге формата А4.

СХЕМА СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

* К данному листу прикрепляется схема съемочного обоснования, выполненная на листе плотной бумаги формата А4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Головин Г.А. Геодезия. Топографические съемки: Методические указания к учебной практике по геодезии / Г.А. Головин, Ю.Н. Корнилов, А.А. Боголюбова. СПб.: Санкт-Петербургский горный университет. 2016. 102 с.
2. Головин Г.А. Геодезия. Топография. Измерения по карте: Лабораторный практикум / Г.А. Головин, Ю.Н., Ю.Н. Корнилов. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». 2012. 29 с.
3. Головин Г.А. Геодезия. Топография. Съёмки местности: Лабораторный практикум / Г.А. Головин, Ю.Н. Корнилов. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». 2012. 45 с.
4. Головин Г.А. Топография. Нивелирование: Лабораторный практикум / Г.А. Головин, Ю.Н. Корнилов. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». 2012. 21 с.
5. Дьяков Б.Н. Основы геодезии и топографии: Учебное пособие / Б.Н. Дьяков, В.Ф. Ковязин, А.Н. Соловьёв. СПб: Изд-во Лань. 2011. 271 с.
6. Инженерная геодезия. В 2-х частях. Учебное пособие / Е.С. Богомолова, М.Я. Брынь, В.А. Коугия и др. СПб.: ПГУПС, 2006, Ч.1. 86 с.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов Федеральной службы геодезии и картографии России. - М., Картгеоцентр-Geoиздат, 2004. 244 с.
8. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 и 1:500 – М.: Недра. 1985. 152 с.
9. Корнилов Ю.Н. Геодезия. Топографические съемки: Учеб. пособие. СПб, 2012. 145 с.
10. Коугия В.А. Инженерная геодезия и геоинформатика. Краткий курс: Учебник. СПб.: Издательство «Лань», 2015. 288 с.
11. Поклад Г.Г. Геодезия / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. М.: Изд-во Академический проект, 2007, 592 с.
12. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. - М., Недра, 2 000. 286 с.

Исходные данные для практической работы «Масштабы»

Вар	Задача				
	1	2	3	4	5
1	1 см на плане/ 1000 м на местности	1: 100 000	1: 100 000	1:200 (3,44 м; 8,56 м) 1:5000 (105 м; 195 м)	1:200 1:5000
2	1 см на плане/ 2000 м на местности	1: 200 000	1: 200 000	1:500 (9,0 м; 21,0 м) 1:10000 (190 м; 414 м)	1:500 1:10000
3	1 см на плане/ 500 м на местности	1: 50 000	1: 50 000	1:1000 (18,8 м; 41,2 м) 1:50000 (2225 м; 950 м)	1:1000 1:50000
4	1 см на плане/ 250 м на местности	1: 25 000	1: 25 000	1:2000 (39,2 м; 80,8 м) 1:50000 (1855 м; 1225 м)	1:2000 1:50000
5	1 см на плане/ 100 м на местности	1: 10 000	1: 10 000	1:5000 (102,0 м; 198,0 м) 1:25000 (825 м; 1322,5 м)	1:5000 1:25000
6	1 см на плане/ 50 м на местности	1: 5 000	1: 5 000	1:25000 (530 м; 970 м) 1:50000 (2175 м; 1780 м)	1:25000 1:50000
7	1 см на плане/ 20 м на местности	1: 2 000	1: 2 000	1:10000 (220 м; 380 м) 1:50000 (970 м; 1560 м)	1:1000 1:50000
8	1 см на плане/ 10 м на местности	1: 1 000	1: 1 000	1:50000 (1140 м; 1860 м) 1:10000 (442 м; 270 м)	1:50000 1:10000
9	1 см на плане/ 5 м на местности	1: 5 00	1: 5 00	1:100000 (2360 м; 3640 м) 1:10000 (374 м; 390 м)	1:100000 1:10000
10	1 см на плане/2000 м на местности	1: 200 000	1: 200 000	1:10000 (244 м; 356 м) 1:25000 (755 м; 485 м)	1:10000 1:25000
11	1 см на плане/1000 м на местности	1: 100 000	1: 100 000	1:500 (12,6 м; 17,4 м) 1:10000 (210 м; 248 м)	1:500 1:10000
12	1 см на плане/500 м на местности	1: 50 000	1: 50 000	1:2000 (52,0 м; 68,0 м) 1:25000 (875 м; 1225 м)	1:2000 1:25000
13	1 см на плане/250 м на местности	1: 25 000	1: 25 000	1:5000 (134 м; 166 м) 1:25000 (935 м; 1345 м)	1:5000 1:25000
14	1 см на плане/100 м на местности	1: 10 000	1: 10 000	1:1000 (27,6 м; 32,4 м) 1:200000 (4840 м; 8480 м)	1:1000 1:200000
15	1 см на плане/ 50 м на местности	1: 5 000	1: 5 000	1:200 (5,68 м; 6,32 м) 1:10000 (332 м; 488 м)	1:200 1:10000
16	1 см на плане/ 20 м на местности	1: 2 000	1: 2 000	1:25000 (730 м; 770 м) 1:10000 (372 м; 528 м)	1:25000 1:10000
17	1 см на плане/ 10 м на местности	1: 1 000	1: 1 000	1:100000 (3000 м; 1700 м) 1:25000 (945 м; 1315 м)	1:100000 1:25000
18	1 см на плане/ 5 м на местности	1: 5 00	1: 5 00	1:50000 (1540 м; 890 м) 1:25000 (745 м; 1210 м)	1:50000 1:25000
19	1 см на плане/2000 м на местности	1: 200 000	1: 200 000	1:1000 (31,6 м; 18,6 м) 1:25000 (665 м; 735 м)	1:1000 1:25000
20	1 см на плане/ 1000 м на местности	1: 100 000	1: 100 000	1:500 (16,2 м; 9,7 м) 1:50000 (1135 м; 1700 м)	1:500 1:50000
21	1 см на плане/500 м на местности	1: 50 000	1: 50 000	1:200 (6,64 м; 4,04 м) 1:10000 (474 м; 268 м)	1:2000 1:25000
22	1 см на плане/250 м на местности	1: 25 000	1: 25 000	1:5000 (170 м; 105 м) 1:25000 (955 м; 1365 м)	1:5000 1:25000
23	1 см на плане/ 100 м на местности	1: 10 000	1: 10 000	1:50000 (1740 м; 1090 м) 1:25000 (725 м; 670 м)	1:5000 1:25000
24	1 см на плане/ 50 м на местности	1: 5 000	1: 5 000	1:10000 (356 м; 226 м) 1:50000 (2360 м; 1570 м)	1:25000 1:50000
25	1 см на плане/ 20 м на местности	1: 2 000	1: 2 000	1:100000 (3640 м; 2340 м) 1:50000 (770 м; 1520 м)	1:100000 1:50000

**Исходные данные для практической работы
«Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости»**

Вар.	Координаты точек, м	Вар.	Координаты точек, м
1	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 900.00 Ya 7 373 758.37 Yb 7 375 000.00	14	Xa 6 642 241.24 Xb 6 642 000.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 500.00
2	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 600.00 Ya 7 373 758.37 Yb 7 375 000.00	15	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 600.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 200.00
3	Xa 6 642 341.24 Xb 6 642 000.00 Ya 7 373 558.37 Yb 7 375 000.00	16	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 050.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 000.00
4	Xa 6 642 241.24 Xb 6 642 000.00 Ya 7 373 758.37 Yb 7 375 500.00	17	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 090.00 Ya 9 393 938.39 Yb 9 395 000.00
5	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 600.00 Ya 7 373 758.37 Yb 7 375 200.00	18	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 020.00 Ya 9 393 988.39 Yb 9 395 010.00
6	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 050.00 Ya 7 373 758.37 Yb 7 375 000.00	19	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 900.00 Ya 9 393 658.39 Yb 9 395 000.00
7	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 070.00 Ya 7 373 738.37 Yb 7 375 000.00	20	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 600.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 300.00
8	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 020.00 Ya 7 373 788.37 Yb 7 375 010.00	21	Xa 6 642 991.24 Xb 6 642 005.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 000.00
9	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 900.00 Ya 7 373 658.37 Yb 7 375 000.00	22	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 498.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 000.00
10	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 600.00 Ya 7 373 958.37 Yb 7 375 300.00	23	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 000.00 Ya 9 393 358.39 Yb 9 395 400.00
11	Xa 6 642 991.24 Xb 6 642 005.00 Ya 7 373 758.37 Yb 7 375 000.00	24	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 080.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 090.00
12	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 600.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 000.00	25	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 600.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 000.00
13	Xa 6 642 341.24 Xb 6 642 000.00 Ya 9 393 558.39 Yb 9 395 000.00	26	Xa 6 642 841.24 Xb 6 642 900.00 Ya 9 393 958.39 Yb 9 395 800.00

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Масштабы.....	4
2. Решение задач по топографической карте.....	6
3. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости.....	9
4. Интерполирование горизонталей.....	12
5. Определение площадей участков на карте.....	17
6. Вычисление координат пунктов теодолитного хода. Построение схемы съемочного обоснования.....	20
Библиографический список.....	24
Приложение 1.....	25
Приложение 2.....	26

ГЕОДЕЗИЯ

***Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04***

Сост.: М.Е. Скачкова, А.И. Казанцев

Печатается с оригинал-макета, подготовленного
кафедрой инженерной геодезии

Ответственный за выпуск *А.И. Казанцев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 11.06.2019. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 3,1. Усл.кр.-отт. 3,1. Уч.-изд.л. 2,3. Тираж 100 экз. Заказ 547. С 201.

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