



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Инженерная геодезия»

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЭВМ
ПРИ ИНЖЕНЕРНО-
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Методические указания

Минск 2007

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Инженерная геодезия»

ПРИМЕНЕНИЕ ПЭВМ
ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Методические указания
для студентов I курса строительных специальностей

Минск 2007

УДК 528.46:004 (075.8)

ББК 38.2я7

П 76

Составители:

В.И. Михайлов, В.Г. Мархвида, О.Е. Гармаза

Рецензенты:

О.И. Киричок, С.И. Матиек

В методических указаниях рассматриваются вопросы решения задач по топографической карте, обработки материалов инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений, расчета разбивочных элементов для выноса проекта сооружения в натуру. На языке Visual Basic редактора Excel составлены прикладные программы для решения 9 геодезических задач, таких как вычисление площади полигона по координатам его вершин, вычисление журнала технического нивелирования трассы автодороги, решение обратной геодезической задачи и других. Все программы записаны на магнитном диске.

1. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО КАРТАМ

Задание 1. Определить географические координаты (φ , λ) точки А, заданной на карте масштаба 1:10000. Для определения широты (φ_A) (рис. 1.1, а) через точку А проводится карандашом линия, параллельная внутренней южной (или северной) рамке. Секунды оценивают интерполяцией в пределах 10" интервала, например 45". Широта южной рамки $54^\circ 40'$, поэтому $\varphi_A = 54^\circ 40' 45''$.

Долгота (λ_A) находится аналогично, проведением через точку А истинного меридиана. Для данного примера $\lambda_A = 18^\circ 04' 42''$.

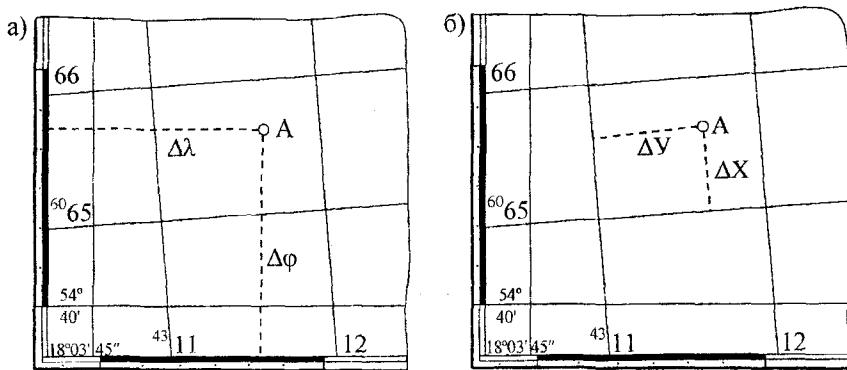


Рис. 1.1. Определение географических координат точки А (а) и прямоугольных координат той же точки (б)

Задание 2. Определить прямоугольные координаты (X , Y) точки А по карте масштаба 1:10000 (см. рис. 1.1, б). Точка А находится в квадрате километровой сетки с координатами ее юго-западного угла: $X = 6065$ км, $Y = 4311$ км. Проведя через точку А прямые, параллельные осям координат, и измерив с помощью измерителя и масштабной линейки отрезки ΔX и ΔY , получим

$$X_A = 6065 + 0,65 = 6065,65 \text{ км};$$

$$Y_A = 4311 + 0,65 = 4311,65 \text{ км}.$$

Задание 3. Определить дирекционный угол линии АВ (α), истинный ($A_{И}$) и магнитный ($A_{М}$) азимуты.

Для этого на карте необходимо продлить направление АВ до пересечения с ближайшей вертикальной линией (например 43^{12}) километровой сетки, нуль транспортира совместить с северным концом линии километровой сетки и сделать отсчет по ходу часовой стрелки до заданного направления, $\alpha_{AB} = 78^{\circ}35'$ (рис. 1.2).

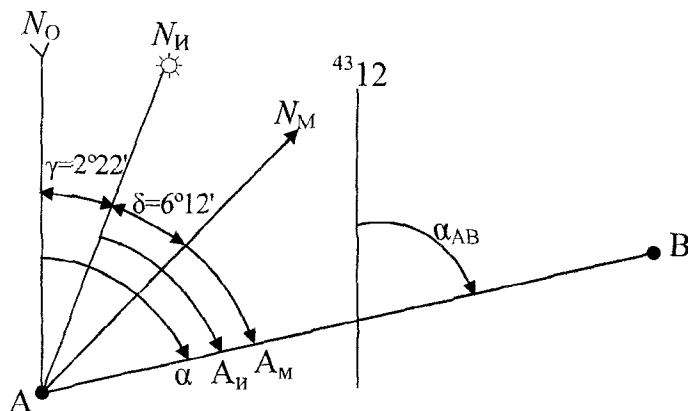


Рис. 1.2. Определение дирекционного угла, истинного и магнитного азимутов линии АВ

Истинный азимут $A_{И}$ линии АВ измеряется от истинного меридиана, полученного в результате соединения одноименных точек десятисекундных интервалов на северной и южной сторонах рамки трапеции карты. Вычисляется истинный азимут согласно рис. 1.2 как $A_{И} = \alpha - \gamma = 78^{\circ}35' - 2^{\circ}22' = 76^{\circ}13'$. Магнитный азимут $A_{М} = A_{И} - \delta = 76^{\circ}13' - 6^{\circ}12' = 70^{\circ}01'$.

Задание 4. Определить отметку точки А (H_A), расположенной между смежными горизонталями с высотами H_1 и H_2 (рис. 1.3).

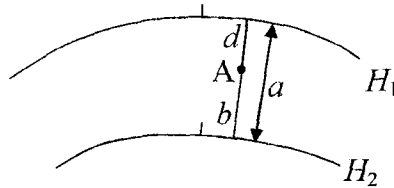


Рис. 1.3. Схема определения отметки точки А на топографической карте

Для этого следует провести через точку А кратчайшую линию между горизонталями и измерить с помощью измерителя и масштабной линейки расстояния d , b и a в мм. В таком случае будем иметь

$$H_A = H_1 + h_c \frac{d}{a} = H_2 - h_c \frac{b}{a},$$

где h_c – высота сечения рельефа, м.

Задание 5. Определить крутизну ската линии tm (рис. 1.4, а).

Для этого необходимо с помощью измерителя найти на графике заложений для углов наклона перпендикуляр $t'm'$ (см. рис. 1.4, б), значение которого соответствует tm на карте и равно $0^\circ 20'$.

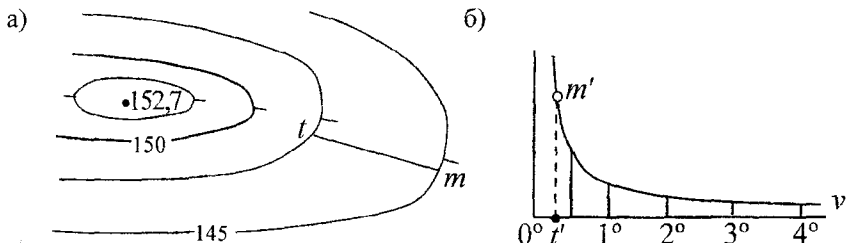


Рис. 1.4. Определение крутизны ската линии tm по масштабу заложений:

a – форма рельефа, изображенная горизонталями на карте;

$б$ – график заложений для углов наклона

Крутизну ската характеризуют также уклоном $i = \text{tg} \nu = \frac{h_c}{a}$, где h_c – высота сечения рельефа и a – заложение, определяемое по плану и выраженное в метрах. Уклон линии выражается в промиллях (‰).

Задание 6. Провести кратчайшую линию между точками А и В таким образом, чтобы ни один отрезок не имел уклона больше заданного (допустимого) ($i_{\text{задан}}$). Измерив раствором циркуля на графике заложений для уклонов расстояние $a_{\text{задан}}$, соответствующее заданному уклону, засекают последовательно точки 1, 2, ..., 7 от точки А до точки В (рис. 1.5).

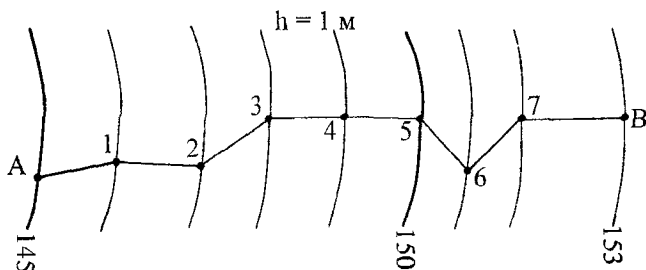


Рис. 1.5. Схема построения на карте линии заданного уклона

Соединив все точки, получают линию с уклоном, не превышающим заданного.

Для определения необходимого заложения (расстояния между горизонталями) можно также использовать формулу

$$a = \frac{h}{(i_{\text{задан}} \cdot M)},$$

где M – знаменатель числового масштаба карты.

Задание 7. Определить длину линии АВ на карте масштаба 1:10 000. Зная масштаб карты (плана), расстояние АВ можно определить измерителем и масштабной линейкой.

Задание 8. Построить профиль местности по линии АВ. Для этого на карте масштаба 1:10 000 (рис. 1.6, а) необходимо определить высоты точек пересечения горизонталей с линией АВ (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11), а также характерные точки рельефа (5, 9). Горизонтальный масштаб будет равным масштабу карты, вертикальный – в десять раз крупнее. Верхнюю горизонтальную черту профиля принять за условный горизонт (УГ) так, чтобы весь профиль был построен выше этой линии на 7–10 см. В нашем примере УГ = 170,00 м. Измерителем переносят с карты точки пересечения линии АВ с горизонталями и подписывают их отметки, по значениям которых восстанавливают перпендикуляры. Вершины перпендикуляров соединяют (см. рис. 1.6, б).

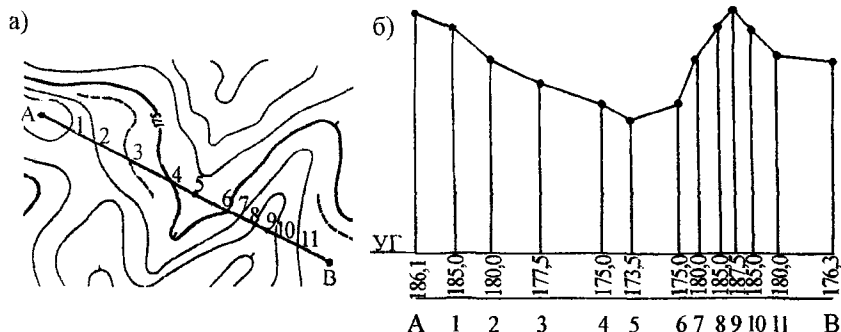


Рис. 1.6. Построение профиля местности по линии АВ:
а – линия АВ на карте; б – профиль по этой же линии

Задание 9. Определить площадь заданного контура на карте масштаба 1:10000 полярным планиметром и аналитическим способом.

Для измерения полюс прибора неподвижно закрепляют на карте, расположенной на горизонтальной плоскости. Обводную марку устанавливают в какой-либо точке контура и по счетному механизму берут начальный отсчет m_1 , состоящий из четырех цифр. Первая цифра берется с циферблата, две

следующие – с отсчетного колеса и последняя – с верньера. Затем обводная марка ведется по границе участка против хода часовой стрелки до исходной точки контура, где берется отсчет m_2 , а затем после следующего обвода – отсчет m_3 . Площадь участка вычисляется по формуле $S = c \cdot n$, где c – цена деления планиметра; n – средняя площадь в делениях планиметра ($n_1 = m_1 - m_2$; $n_2 = m_2 - m_3$; $n = n_1 + n_2 / 2$).

Для определения цены деления планиметра обводят два раза квадрат километровой сетки. Цена деления вычисляется по формуле $c = S/n$. При работе с прибором угол между обводным и полусным рычагом должен быть в пределах от 30 до 150°. Точность определения площади планиметром характеризуется относительной погрешностью порядка 1:300.

Более точный способ измерения площадей – аналитический. Относительная погрешность его составляет около 1:1500. Формулы для вычисления площади

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n x_i (Y_{i+1} - Y_{i-1});$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n y_i (X_{i-1} - X_{i+1}).$$

Для автоматического вычисления площади полигона до 100 углов поворота составлена программа, по которой следует ввести в компьютер координаты соответствующих точек и на экране монитора получить его площадь в га и м² (прил. 1).

2. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1. *Нивелирование и составление профиля трассы автодороги*

2.1.1. *Цель работы и исходные данные*

В ходе выполнения работы необходимо:

- обработать данные журнала технического нивелирования трассы автодороги (журнала);
- построить продольный и поперечный профили трассы по данным, полученным в результате вычисления журнала нивелирования;
- на построенном профиле провести проектную линию трассы автодороги.

Для выполнения работы студенту выдается журнал технического нивелирования, в котором имеются:

- результаты нивелирования трассы от репера $Rp153$ до $Rp146$;
- результаты нивелирования поперечного профиля на ПК10;
- исходные данные: высоты реперов, углы поворотов и радиусы закруглений трассы, которые выдает преподаватель;
- пикетажный журнал, в котором отображены заснятая по трассе ситуация, расположение пикетов, плюсовых точек, поперечника и углов поворотов трассы.

2.1.2. *Полевые геодезические работы*

Чтобы получить данные для проектирования трассы автодороги на всем ее протяжении, выполнены инженерно-геодезические изыскания, в процессе которых разбит пикетаж. Пикетаж – система обозначения и закрепления точек трассы. Пикеты – это точки оси трассы, предназначенные для закрепления заданного интервала, – закреплены кольшками через 100 м;

в притрассовой полосе местности шириной до 50 м произведена съемка ситуации, которая отображена в пикетажном журнале. Если пикетажные колышки не совпадали с местом изгиба рельефа, то устанавливались плюсовые точки, на которых указано расстояние от ближайшего предыдущего пикета, например, ПК1+40 (журнал).

При инженерно-геодезических изысканиях трассы автодороги геометрическое нивелирование достаточно производить с погрешностью 30 мм на 1 км трассы, т. к. погрешность в определении уклонов участков трасс составит

$$f_i \leq \frac{1}{10} i_{\min} = \frac{1}{10} \cdot 0,005 = 0,0005.$$

Даже при минимальном уклоне автодороги $i_{\min} = 0,005$ погрешность в превышении из-за влияния f_i на 1 км трассы будет

$$f_{h_i} = i \cdot d = 0,0005 \cdot 1000 \text{ м} = 0,5 \text{ м} = 500 \text{ мм}.$$

Поэтому применено техническое нивелирование трасс линейных сооружений, где невязка нивелирования, вычисляемая по формуле $f_h = 30\sqrt{L}$, на 1 км хода $f_h = 30$ мм, что вполне удовлетворяет поставленным требованиям (f_h нивелирования меньше f_{h_i}). Допустимая длина плеча $l \leq 150$ м, неравенство расстояний от нивелира до реек на станции не должно превышать 10 м.

Для выполнения технического нивелирования применяется нивелир Н-10К, а также нивелиры более высокого класса Н-3 или НЗК. Нивелирование производилось по двум двусторонним рейкам типа РН-10 способом «из середины».

Связующая точка соединяет две различные станции: по установленной на такой точке рейке по двум ее сторонам берут

отсчеты с обеих станций с точностью до 1 мм. Связующими точками могут быть пикеты, плюсовые или иксовые точки, которые служат только для передачи превышений. При нивелировании точки, не являющиеся связующими, называются промежуточными и нивелируются после связующих обычно по одной стороне рейки. На рис. 2.1 приведена схема нивелирования на станции III.

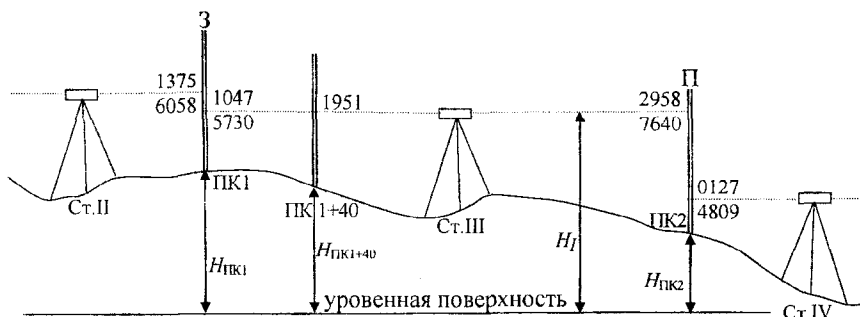


Рис. 2.1. Схема нивелирования связующих (ПК1, ПК2) и промежуточных (ПК1+40) точек

2.1.3. Обработка данных журнала технического нивелирования

Обработка данных журнала сводится к вычислению превышений, их уравниванию и вычислению высот пикетов, плюсовых точек и поперечных профилей.

Обработку данных журнала произвести в следующей последовательности.

В полевых условиях.

1. Вычислить превышения h как разность отсчетов на заднюю и переднюю рейки (графы 3 и 4) и, в зависимости от знака, записать в графу превышений 6 или 7 (журнал).

Например, на станции I значения превышений между репером Rp_{153} и ПК0 в мм будут

$$3 - П = h = 1601 - 2854 = -1253;$$

$$3' - \Pi' = h' = 6286 - 7537 = -1251,$$

где h и h' – превышения, вычисленные по черной и красной сторонам реек соответственно.

Контроль на станции: $|h - h'| \leq 5$ мм.

При камеральной обработке.

2. Вычислить $h_{\text{ср}}$, округлив до целых четных чисел, мм, и записать в графу 8 или 9.

Пример смотри в журнале: $h_{\text{ср}} = -1252$.

3. Выполнить постраничный контроль правильности вычисления превышений связующих точек

$$\frac{\sum 3 - \sum \Pi}{2} = \sum h_{\text{ср}}.$$

Расхождения при постраничном контроле могут достигать 1–2 мм за счет округления.

4. Определить невязку f_h в превышениях по всему ходу:

$$f_h = \sum h_{\text{ср}} - (H_{Rp146} - H_{Rp153})$$

где H_{Rp146} , H_{Rp153} – исходные отметки Rp 146 и Rp 153.

5. Определить допустимую невязку

$$f_{h_{\text{доп}}} = 30\sqrt{L},$$

где L – длина нивелирного хода, км. Эту длину следует взять с пикетажного журнала с учетом привязки ПК0 к реперу. Запись вычисления невязки выполнить в конце хода на последней странице журнала.

6. Если условие

$$|f_h| \leq |f_{h_{\text{доп}}}|$$

выполнено, то в каждое превышение вводят равные поправки V_h , вычисленные по формуле

$$V_h = \frac{-f_h}{n},$$

где n – число станций. Поправки вводят со знаком, обратным невязке. Полученные значения поправок округляют до 1 мм так, чтобы выполнялся контроль:

$$\sum V_h = -f_h.$$

Поправки записать красным карандашом (ручкой) над вычисленными средними значениями превышений h_{cp} в графе 8 или 9. Их алгебраическая сумма и будет исправленным превышением:

$$h_{испр.} = h_{cp.} + V_h.$$

7. Контроль ($h_{испр.}$) по всему ходу:

$$\sum h_{испр.} = H_{Rp153} - H_{Rp146}.$$

8. Вычислить высоты связующих точек:

$$H_{ГК0} = H_{Rp153} + h_{iиспр.};$$

$$H_{ГК1} = H_{ГК0} + h_{iиспр.};$$

.....

$$H_{Rp146} = H_{X_2} + h_{iиспр.}$$

и записать в графу 13 журнала.

9. Высоты промежуточных точек данной станции вычисляют через ее горизонт прибора H_I . Для этого необходимо:

– вычислить H_I (ГП) (см. рис. 2.1):

$$H_I = H_1 + 3,$$

где 3 – отсчет по черной стороне задней рейки;

– определить высоты промежуточных точек данной станции, например:

$$H_{\text{ПК}1+40} = H_I - a_{\text{ПК}1+40},$$

где $a_{\text{ПК}1+40}$ – отсчет по рейке на промежуточную точку.

Высоту горизонта прибора записать в графу 12, а промежуточных точек – в графу 13 журнала.

Обработка данных журнала технического нивелирования может быть выполнена как на калькуляторе, так и по программе на ПЭВМ (прил. 2).

2.1.4. Составление профиля

Продольный профиль трассы строят по данным нивелирного и пикетажного журналов на миллиметровой бумаге формата 600×400 мм или 2 листа формата А3.

Горизонтальный масштаб принять 1:5000, вертикальный – 1:500.

Работу выполнить в следующей последовательности.

1. На листе миллиметровой бумаги вычертить сетку профиля, форма и размеры которой приведены в прил. 3.

2. Верхнюю горизонтальную линию сетки принять за условный горизонт так, чтобы весь профиль был построен выше этой линии на 6–8 см.

3. Заполнить графу 5 сетки – «расстояние» (в масштабе 1:5000 отмечают пикеты и плюсовые точки по данным графы 2 нивелирного журнала).

4. В графу 5 «пикеты» вписать номера пикетов. Расстояние до плюсовой точки от предыдущего и последующего пикетов записать между соответствующими ординатами.

Например, плюсовая точка ПК1+40 – расстояние от предыдущего ПК1 равно 40 м, а от последующего ПК2 – 60 м.

5. Выписать из журнала нивелирования (графа 13 в графу 3) профиля «фактические отметки», округленные до 1 см) отметки пикетов и плюсовых точек.

6. Построить линию продольного профиля трассы, откладывая от условного горизонта по ординатам в масштабе 1:500 величины фактических отметок (в прил. 3 условный горизонт принят 175,00).

7. В графе 6 построить ось трассы с указанием углов поворота, которые выписываются из пикетажного журнала.

8. Поперечный профиль трассы (прил. 4) строят по аналогии с продольным, но масштабы горизонтальный и вертикальный принять равными 1:500. Так как изменяется масштаб, то для поперечного профиля выбирают свой условный горизонт. Указанные в графе 2 журнала нивелирования расстояния разбитого на ПК10 поперечного профиля откладывают от оси трассы, а ее фактические и проектные отметки выписывают из продольного профиля.

9. В правом нижнем углу миллиметровой бумаги вычертить штамп в соответствии с приведенными прил. 3 и 4.

2.2. Инженерно-геодезические расчеты при проведении проектной линии трассы автодороги

Расчеты и построения выполнить в такой последовательности.

1. На построенном профиле провести проектную линию трассы автодороги, соблюдая следующие условия:

а) продольные уклоны должны быть не больше, а радиус не меньше указанных в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Категория дороги	Основная расчетная скорость, км/ч	Наибольший продольный уклон, ‰	Расчетное расстояние видимости, м	Наименьший радиус кривизны, м
I	150	30	250	1000
II	120	40	175	600
III	100	50	140	400
IV	80	60	100	250
V	60	70	75	125
	50	80	60	100

Минимальный уклон для всех категорий дорог по условиям поверхностного стока будет 0,005 (уклон записать в тысячных – 5);

б) предусмотреть не менее трех переломов проектной линии;

в) объемы насыпи и выемки на близлежащих участках должны быть равными и минимальными.

2. По продольному профилю графически определить отметки переломных точек проектной линии и расстояния между ними; вписать их карандашом в графу «Проектные отметки и расстояния».

3. По найденным отметкам смежных точек вычислить уклоны проектных линий i :

$$i = \frac{H_{n+1} - H_n}{d}$$

Вычисленные уклоны округлить до 0,001 и записать в соответствующую графу профиля ($i_{\text{окр}}$ – округленное значение уклона). Чтобы вследствие округлений уклона не нарушалась зависимость между i , d и разностью отметок, следует подкорректировать значение H_{n+1} . Новое значение

$$H'_{n+1} = H_n + i_{\text{окр}} \cdot d$$

записать вместо H_{n+1} . Ввиду малого различия между H_{n+1} и H'_{n+1} корректировку положения проектной линии в точке $(n+1)$ проводить графически в основном не нужно.

4. Вычислить рабочие отметки как разность проектных и фактических отметок. На участках выемки отметки записать под проектной линией, на участках насыпи – над линией. Площади выемки оттенить красным цветом, насыпи – желтым.

5. Определить расстояние d от ближайших предыдущих переломных точек профиля до точек нулевых работ с точностью 0,1 м:

$$d = d' \cdot \frac{h}{h + h'}$$

где d' – расстояние между ближайшими смежными переломными точками профиля или пикетами, между которыми расположена искомая точка нулевых работ;

h, h' – рабочие отметки смежных точек, между которыми известно расстояние d .

Пример (прил. 3):

$$d = 100 \cdot \frac{2,73}{2,73 + 1,28} = 68,0 \text{ м.}$$

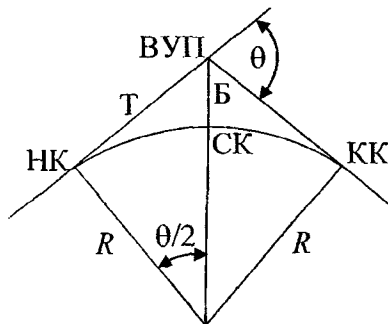
6. Вычислить абсолютные отметки точек нулевых работ (синие отметки) H_0 , используя вычисленные расстояния d и проектные отметки ближайших предыдущих точек:

$$H_0 = H_n + i_{\text{окр}} \cdot d.$$

Запись H_0 и d произвести в соответствии с приведенным образцом.

7. Заполнить графу «Прямые и кривые», для чего по заданному углу поворота θ и радиусу закругления R рассчитать (выписать из «Таблицы для разбивки круговых кривых на автомобильных дорогах») основные элементы горизонтальных и вертикальных круговых кривых. При расчете на ПЭВМ видимый на экране монитора пример будет представлен в следующем виде.

Дано:
 R – радиус кривой
 θ – угол поворота
 трассы



$\theta = 30^\circ$
 $R = 300 \text{ м}$
 $T = 80,385$
 $K = 157,080$
 $B = 10,584$
 $D = 3,690$

Рис. 2.2. Основные элементы круговой кривой

Вычислить или выписать из таблицы:

тангенс $T = R \operatorname{tg} \frac{\theta^\circ}{2}$; кривую $K = \frac{\pi R \theta^\circ}{180^\circ}$ или $K = 0,017453R \cdot \theta^\circ$;

биссектрису $B = R \cdot \left(\sec \frac{\theta^\circ}{2} - 1 \right)$; домер $D = 2T - K$;

НК, СК, КК – начало, середина и конец горизонтальной кривой соответственно;

ВУП – вершина угла поворота.

Расчет шикетажных значений основных точек заданной горизонтальной круговой кривой:

ПК НК = ПК ВУП – T;

ПК СК = ПК НК + K/2;

ПК КК = ПК НК + K.

контроль:

ПК КК = ПК ВУП + T – D;

На профиле построить кривую и выписать ее элементы, руководствуясь приведенным образцом (прил. 3).

8. Спроектировать поперечный профиль по аналогии с образцом, приняв за исходную проектную отметку продольного профиля на ПК10.

3. РАСЧЕТ РАЗБИВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ВЫНОСА ПРОЕКТА СООРУЖЕНИЯ В НАТУРУ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЫНОСИМЫХ ПУНКТОВ

Подготовка данных для разбивки сооружений выполняется графически, аналитически и графоаналитически. Более оперативным является последний способ. В этом случае координаты выносимых точек определяются по плану. Другая часть исходных данных вычисляется аналитически.

В зависимости от условий местности и геодезической разбивочной сети выбирается способ выноса проекта сооружения в натуру. Способ прямоугольных координат целесообразнее применять, когда на стройплощадке имеется строительная сетка или закрепленные на местности красные линии застройки. В практике довольно часто применяется полярный способ, который предлагается для выполнения данного задания.

Постановка задания.

1. Запроектировать на плане масштаба 1:1000 вблизи теодолитного хода сооружение 60×12 м (рис. 3.1). Пользуясь измерителем и масштабной линейкой определить на плане координаты точек А и В. Для этого необходимо измерить отрезки ΔX и ΔY от ближайших линий координатной сетки.

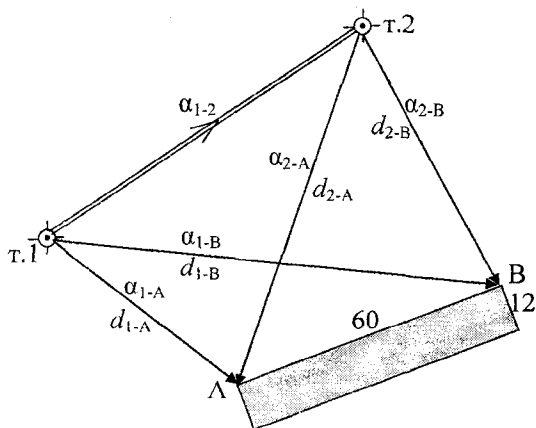


Рис. 3.1. Схема выноса проекта сооружения в натуру

2. Решение осуществляется в следующем порядке.

Полярные координаты (румб r_{AB} и расстояние между точками d_{AB}) находят из решения обратной геодезической задачи (прил. 5).

$$\operatorname{tgr} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}, \quad r = \operatorname{arctgr}.$$

Перейти от румба r к азимуту α , учтя знаки при ΔX и ΔY .

$$d_{AB} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha}.$$

Если вычисленная длина линии d_{AB} не равна проектной $d_{ABпр}$, для получения уточненных координат $X_{Bк}$, $Y_{Bк}$ решают прямую геодезическую задачу.

$$X_{Bк} = X_A + \Delta X_{AB} = X_A + d_{ABпр} \cdot \cos \alpha_{AB};$$

$$Y_{Bк} = Y_A + \Delta Y_{AB} = Y_A + d_{ABпр} \cdot \sin \alpha_{AB}.$$

В дальнейших вычислениях используются уточненные (скорректированные) координаты точки В.

3. Решение обратных геодезических задач между точками теодолитного хода и двумя точками А и В проектируемого сооружения выполнить в табл. 3.1, в которой указан порядок вычислений. Эти задачи могут быть решены также по программе, пример решения одной из них, видимый на экране монитора, представлен в прил. 5.

Ведомость вычисления дирекционных углов
и длин линий по координатам точек

Номера точек Формулы	A(n) B(n+1)	A B _K	т.1 A	т.1 B _K	т.2 A	т.2 B _K
Y_{n+1}	(1)	(9)	(1)			
Y_n	(2)	(8)	(2)			
ΔY	(3)	(7)	(3)			
X_{n+1}	(4)	(6)	(4)			
X_n	(5)	(5)	(5)			
ΔX	(6)	(4)	(6)			
$\text{tgr} = \Delta Y / \Delta X$	(7)		(7)			
$r = \arctgr$	(8)		(8)			
α	(9)		(9)			
$\sin \alpha$	(10)	(3)	(10)			
$\cos \alpha$	(11)	(2)	(11)			
$d = \Delta Y / \sin \alpha$	(12)		(12)			
$d = \Delta X / \cos \alpha$	(13)		(13)			
$d_{\text{ср}}$	(14)	(1)	(14)			

4. Среднее квадратическое отклонение положения точек А и В, выносимых на местность способом полярных координат, вычислить по формуле

$$m_d = \sqrt{\left(\frac{m_d}{d}\right)^2 \cdot d^2 + \left(\frac{m'_\beta}{\rho'}\right)^2 \cdot d^2 + m_\Phi^2},$$

где $\frac{m_d}{d}$ – относительная погрешность откладывания расстояния;
 m'_β – погрешность построения проектного дирекционного угла;
 m_Φ – погрешность фиксации положения точки А или В на местности.

Принять $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{2000}$; $m'_p = \pm 0,5'$; $m_\phi = 0,5$ см; $\rho = 3438'$.

Фактическую относительную погрешность вынесенной в натуру линии d_{AB} вычислить как

$$\frac{|d_{AB} - d_{AB_{пр}}|}{d_{AB}} = \frac{1}{\dots\dots\dots} \leq \frac{1}{2000},$$

где $d_{AB_{пр}}$ – проектная линия.

5. На схему выноса в натуру проекта сооружения (см. рис. 3.1) выписать вычисленные дирекционные углы и длины линий. С помощью измерителя и транспорта проверить на плане вычисленные разбивочные элементы α и d .

4. ПРИМЕНЕНИЕ ПЭВМ ДЛЯ ДРУГИХ, НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ

В прил. 6–11 приводятся примеры вычислительной обработки других инженерно-геодезических задач, данные и результаты обработки которых выводятся на экране монитора: вычисление координат точек теодолитного хода (прил. 6); вычисление данных журнала технического нивелирования (прил. 7); решение обратной угловой засечки (прил. 8); пространственной прямой угловой засечки (прил. 9); угловой засечки по дирекционным углам (прил. 10); линейной засечки (прил. 11).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Алгоритм вычисления площади полигона по координатам его вершин

	А	В	С	G	H	I
1	Вычисление площади полигона по координатам					
2						
3	№ пункта	X	Y	P=	0,1564	га ²
4	1	-6039,34	-545,10			
5	2	-6066,09	-507,04	P=	1564,11	м ²
6	3	-6093,58	-528,42			
7	4	-6067,24	-564,36			
8	5					
9	6					
10	7					
11	8					
12	9					
13	10					
14	11					
15	12					

Основой алгоритма вычисления площади полигона является формула

$$P = 0,5 \sum (X_i + X_{i+1})DY_i .$$

В ячейках запишем

D4=ЕСЛИ((E5=ИСТИНА);((B4+\$B\$4)*(\$C\$4-C4))/2;
(B4+B5)*(C5-C4))/2)

E4=ЕПУСТО(B4)

F4=ЕСЛИ((E4=ИСТИНА);0;D4)

Аналогично для остальных ячеек столбцов D, E, F.

Окончательный результат в ячейке

H3=ОКРУГЛ(ABS((СУММ(F:F))/10000);4)

H5=ОКРУГЛ(ABS((СУММ(F:F)));2)

Программа позволяет вычислить до 100 точек полигона.

**Вычисление данных журнала
технического нивелирования трассы автодороги**

Введите исходную отметку начального репера в метрах
 Введите исходную отметку конечного репера в метрах
 Введите длину хода в километрах
 Введите количество станций в нивелирном ходе

$H =$	185,021
$H =$	176,704
$L =$	1,4
$n =$	18

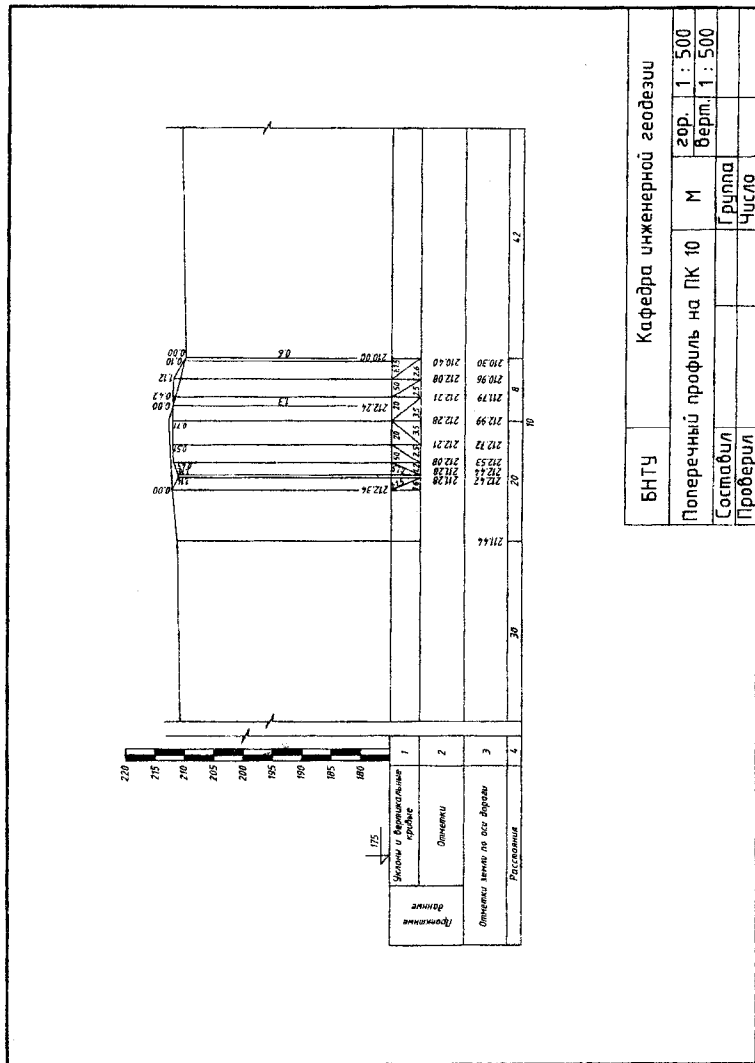
Номер станции	Номер точки	Отсчеты по рейке, мм			Превышение, мм			Гориз. прибора ГП, м	Высота точки H, м
		задней	передней	промеж.	вычислен.	среднее	исправл.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Rp153	1601			-1253	-1252	-1251	186,622	185,021
1		6286			-1251				
	0		2854						183,770
			7537						
	0	2981			1606	1606	1607	186,751	183,770
2		7664			1606				
	1		1375						185,377
			6058						
	1	1047			-1911	-1911	-1909	186,424	185,377
3		5730			-1910				
	1+40			1951					184,473
	2		2958						183,468
			7640						
	2	0127			-2331	-2331	-2329	183,595	183,468
4		4809			-2330				
	2+60		2458						181,139
			7139						
	2+60	0547			-0928	-0927	-0926	181,686	181,139
5		5232			-0926				
	2+80			2428					179,258
	3		1475						180,213
			6158						

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	10	0453			-2344	-2344	-2342	190,946	190,493
13		5137			-2343				
	Л20			1873					189,073
	Л50			2219					188,727
	ПР8			3000					187,946
	ПР50			2975					187,971
	10+20			0482					190,464
	10+70			2491					188,455
	11		2797						188,150
			7480						
	11	0572			-2288	-2287	-2286	188,722	188,150
14		5256			-2286				
	ВУ2			1271					187,451
	12		2860						185,864
			7542						
	12	0271			-2414	-2413	-2412	186,135	185,864
15		4955			-2412				
	13		2685						183,453
			7367						
	13	0321			-2306	-2305	-2304	183,774	183,453
16		5005			-2304				
	13+45		2627						181,149
			7309						
	13+45	0402			-2309	-2308	-2307	181,551	181,149
17		5086			-2307				
	X2		2711						178,842
			7393						
	X2	0384			-2138	-2139	-2138	179,226	178,842
18		5065			-2140				
	Rp146		2522						176,704
			7205						

$$\begin{aligned} \Sigma 3 &= 13516 & \Sigma \Pi &= 151991 & \Sigma h_{\text{выч}} &= -16675 & L_{\text{км}} &= 1,4 \\ \Sigma h_{\text{сп}} &= -8338 & f_h &= -0,021 \text{ м} & f_{\text{дон}} &= 35 \text{ мм} \end{aligned}$$

Поперечный профиль трассы автодороги



БНТУ		Кафедра инженерной геодезии	
Поперечный профиль на ПК 10		гор.	1 : 500
Составил		Верт.	1 : 500
Проверил		Грифта	
		Число	

Решение обратной геодезической задачи

Формулы для решения дирекционного угла введены в столбце G в соответствующих ячейках:

$$G6 = \text{ЕСЛИ}(D4 - D8 \leq 0; (180/\text{ПИ}()) * (\text{ACOS}((D7 - D3)/F5)); (180/\text{ПИ}()) * (\text{ACOS}((D7 - D3)/F5)) * -1 + 360)$$

$$G7 = \text{ЦЕЛОЕ}(G6)$$

$$G8 = \text{ЦЕЛОЕ}((G6 - G7) * 60)$$

$$G9 = (((G6 - G7) * 60) - \text{ЦЕЛОЕ}((G6 - G7) * 60)) * 60$$

$$G10 = \text{ЕСЛИ}((G9) > 59,5; 0; \text{ОКРУГЛ}(G9; 0))$$

$$G11 = \text{ЕСЛИ}((G9) > 59,5; 60; G10)$$

$$G12 = \text{ЕСЛИ}(G11 = 60; G8 + 1; G8)$$

$$G13 = \text{ЕСЛИ}(G12 = 60; 0; G12)$$

$$G14 = \text{ЕСЛИ}(G12 = 60; G7 + 1; G7)$$

$$G15 = \text{ЕСЛИ}(G14 = 360; 0; G14)$$

Формула для вычисления длины линии записана ячейке F5

$$F5 = \text{КОРЕНЬ}((D7 - D3)^2 + (D8 - D4)^2)$$

В ячейке F6 введена формула для записи дирекционного угла в классическом виде

$$F6 = \text{СЦЕПИТЬ}(G15; \text{СИМВОЛ}(176); " "; G13; \text{СИМВОЛ}(146); " "; G10; \text{СИМВОЛ}(148)); "$$

Диалоговый текст введен в столбцы A, B, C, E согласно таблице

	A	B	C	D	E	F	G	
1		Обратная геодезическая задача						
2								
3	Исх. пункт	1	X1=	0				
4			Y1=	0				
5					S1-2=	22,825		
6					α 1-2=	61° 11' 21"		
7	Исх. пункт	2	X2=	11				
8			Y2=	20				
9								
10								
11								

Формулы для решения

$$S = ((X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2)$$

$$a = \text{ACOS}((X2 - X1)/S); \text{ если } (Y2 - Y1) \leq 0, \text{ то } a = 360^\circ - a.$$

Вычисление координат точек теодолитного хода

Введите координаты начального пункта

$X_H = 2343,810$

$Y_H = 5000,440$

Введите начальный дирекционный угол

$\alpha_H = 91,1314$

Введите координаты конечного пункта

$X_K = 5108,121$

$Y_K = 5106,057$

Введите конечный дирекционный угол

$\alpha_K = 44,5853$

Введите количество углов поворота

$n = 8$

№ точки	Углы поворота β	Директ. углы α	Длина сторон $D, м$	Приращения		Координаты	
				$\Delta X, м$	$\Delta Y, м$	$X, м$	$Y, м$
Васино		91,1314					
Новики	145,2031					2343,810	5000,440
		56,3344	460,153	253,559	383,990		
2415	138,1542					2597,355	5384,440
		14,4925	583,614	564,191	149,313		
6301	95,0418					3161,528	5533,765
		289,5341	335,216	114,072	-315,210		
2783	178,3505					3275,590	5218,561
		288,2845	638,708	202,445	-605,776		
2114	263,1430					3478,015	4612,799
		11,4314	702,911	688,255	142,788		
3590	181,1952					4166,249	4755,601
		13,0305	617,385	601,437	139,419		
3784	198,4421					4767,668	4895,033
		31,4724	400,555	340,465	211,016		
Кохово	193,1130					5108,121	5106,057
		44,5853					
Лесной							

$S = 3738,542$

$\Sigma\beta_n = 1393,4549$

$\Sigma\beta_T = 1393,4539$

$f_\beta = 0,0010$

$f_{\beta_n} = 60'' \sqrt{n} = \pm 169''$

$\Sigma\Delta X_n = 2764,424$

$f_X = 0,113$

$f_S = 0,137$

$\Sigma\Delta Y_n = 105,540$

$f_Y = -0,077$

$f_S / S = 1/27347$

$f_S / S_{\text{дон}} \leq 1/2000$

Вычисление данных журнала технического нивелирования

Введите исходную отметку начального репера в метрах
 Введите исходную отметку конечного репера в метрах
 Введите длину хода в километрах
 Введите количество станций в ходе

$H = 185,021$
$H = 186,475$
$L = 0,7$
$n = 8$

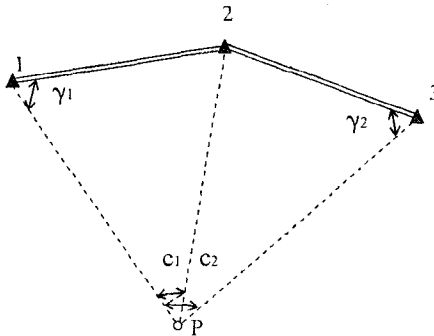
Номер станции	Номер точки	Отсчеты по рейке, мм		Превышение, мм			Высота точки $H, м$
		задней	передней	вычислен.	среднее	исправл.	
	Rp153	1601		-1253			185,021
1		6286		-1251	-1252	-1251	
	0		2854				183,770
			7537				
	0	2981		1606			183,770
2		7664		1606	1606	1607	
	1		1375				185,378
			6058				
	1	1047		-1911			185,378
3		5730		-1910	-1911	-1909	
	2		2958				183,468
			7640				
	2	127		-2331			183,468
4		4809		-2330	-2331	-2329	
	3		2458				181,139
			7139				
	3	547		-928			181,139
5		5232		-926	-927	-926	
	4		1475				180,214
			6158				
	4	1998		1571			180,214
6		6680		1570	1571	1572	
	5		427				181,785
			5110				
	5	2975		2689			181,785
7		7659		2692	2691	2692	
	X1		286				184,477
			4967				
	X1	2613		1996			184,477
8		7295		1997	1997	1998	
	Rp146		617				186,475
			5298				

$$\Sigma Z = 65244 \quad \Sigma \Pi = 62357 \quad \Sigma h_{\text{выч}} = 2887 \quad \Sigma h_{\text{ср}} = 1444$$

$$f_h = -0,011 м \quad f_{h_{\text{доп}}} = \pm 30 \sqrt{L} = 25 мм$$

Решение обратной угловой засечки

Исх.пункт	1	X=	227,532		
		Y=	202,954		
		$\beta_1=$	0		
Исх.пункт	2	X=	92,088		
		Y=	200,544		
		$\beta_2=$	59,3429		
Исх.пункт	3	X=	50,132		
		Y=	127,362		
		$\beta_3=$	124,3613		
		$M\beta''=$	12		
Опр.пункт	P	X=	101,868	$M_x=$	0,007
		Y=	109,725	$M_y=$	0,003



Формулы для вычислений

$$C_1 = \beta_2 - \beta_1; C_2 = \beta_3 - \beta_1; \varphi = 360 - C_2 - (\alpha_{21} - \alpha_{23})$$

$$k = S_2 \sin(C_2 - C_1) / S_3 \sin C_1; \gamma_1 = \text{ATAN}(\sin \varphi / (k + \cos \varphi))$$

$$\gamma_2 = \varphi - \gamma_1; S_{1P} = (S_1 \sin(180 - \gamma_1 - c_1) / \sin c_1)$$

$$c_3 = 360 - c_2; \alpha_{1P} = \alpha_{12} + \gamma_1$$

$$X_p = X_1 + S_{1P} \cos \alpha_{1P}$$

$$Y_p = Y_1 + S_{1P} \sin \alpha_{1P}$$

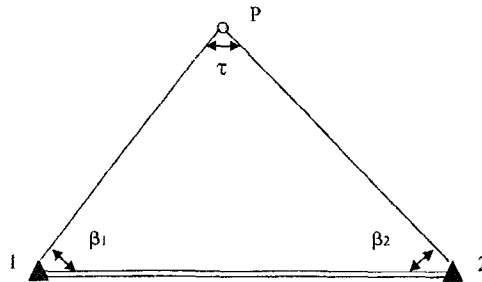
$$\Delta = S_{1P} \sin(c_2 - c_1) + S_{2P} \sin c_3 + S_{3P} \sin c_1$$

$$M_x = M\beta'' \left((S_{1P})^2 (S_{2P} \cos \alpha_{P3} - S_{3P} \cos \alpha_{P2})^2 + (S_{3P})^2 (S_{2P} \cos \alpha_{P1} - S_{1P} \cos \alpha_{P2})^2 \right) / \rho \Delta$$

$$M_y = M\beta'' \left((S_{1P})^2 (S_{2P} \sin \alpha_{P3} - S_{3P} \sin \alpha_{P2})^2 + (S_{3P})^2 (S_{2P} \sin \alpha_{P1} - S_{1P} \sin \alpha_{P2})^2 \right) / \rho \Delta$$

Решение пространственной прямой угловой засечки

Исх.пункт	1	X=	1855,135	H=	140,015
		Y=	1544,235	i=	1,554
		$\beta_1=$	52,1102	v=	2,3314
Исх.пункт	2	X=	1915,997	H=	140,298
		Y=	1477,961	i=	1,602
		$\beta_2=$	82,2234	v=	3,0004
		$M\beta''=$	10		
Опр.пункт	P	X=	1834,215	$M_x=$	0,007
		Y=	1420,827	$M_y=$	0,008
		$H_1=$	147,152		
		$H_2=$	147,130		
		$H_{урав}=$	147,139		



Формулы для вычислений

$$S_{12} = ((X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2)$$

$$\alpha_{12} = \text{ACOS} ((X_2 - X_1) / S_{12}) \text{ если } (Y_2 - Y_1) <= 0 \text{ то } \alpha = 360^\circ - \alpha.$$

$$\alpha_{1p} = \alpha_{12} - \beta_1$$

$$\alpha_{2p} = \alpha_{12} + \beta_2 + 180$$

$$\tau = 180 + (\beta_1 + \beta_2)$$

$$S_{1p} = ((X_2 - X_1) \text{ SIN } \alpha_{2p} - (Y_2 - Y_1) \text{ COS } \alpha_{2p}) / \text{ SIN } \tau$$

$$S_{2p} = ((X_2 - X_1) \text{ SIN } \alpha_{1p} - (Y_2 - Y_1) \text{ COS } \alpha_{1p}) / \text{ SIN } \tau$$

$$X_p = X_1 + S_{1p} \text{ COS } \alpha_{1p}$$

$$Y_p = Y_1 + S_{1p} \text{ SIN } \alpha_{1p}$$

$$M_x = M\beta \cdot ((S_{1p})^2 \text{ COS } \alpha_{2p} + (S_{2p})^2 \text{ COS } \alpha_{1p}) / (\rho \text{ SIN } \tau)$$

$$M_y = M\beta \cdot ((S_{1p})^2 \text{ SIN } \alpha_{2p} + (S_{2p})^2 \text{ SIN } \alpha_{1p}) / (\rho \text{ SIN } \tau)$$

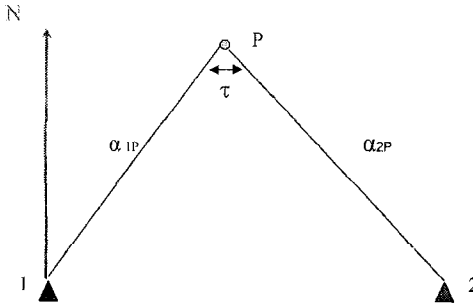
$$H_1 = S_{1p} \text{ Tg } V_{1+i} + H_1$$

$$H_2 = S_{2p} \text{ Tg } V_{2+i} + H_2$$

$$H_{урав} = (H_1 (100 / (S_{1p} / 1000)^2) + H_2 (100 / (S_{2p} / 1000)^2)) / ((100 / (S_{1p} / 1000)^2) + 100 / (S_{2p} / 1000)^2)$$

Решение пространственной прямой угловой засечки по дирекционным углам

Исх. пункт	1	$X=$	4323,545	$H=$	125,153
		$Y=$	11840,267	$i=$	1,661
		$\alpha_1=$	33,2214	$\nu=$	9,4801
Исх. пункт	2	$X=$	4269,53	$H=$	137,448
		$Y=$	11836,446	$i=$	1,655
		$\alpha_2=$	60,0247	$\nu=$	4,4817
		$M\beta=$	12		
Опр. пункт	P	$X=$	4407,055	$M_x=$	0,009
		$Y=$	11895,270	$M_y=$	0,012
		$H_1=$	144,087		
		$H_2=$	144,069		
		$H_{урав}=$	144,073		



Применяемые формулы

$$\tau = \alpha_{2P} - \alpha_{1P}$$

$$S_{1P} = ((X_2 - X_1) \sin \alpha_{2P} - (Y_2 - Y_1) \cos \alpha_{2P}) / \sin \tau$$

$$S_{2P} = ((X_2 - X_1) \sin \alpha_{1P} - (Y_2 - Y_1) \cos \alpha_{1P}) / \sin \tau$$

$$X_P = X_1 + S_{1P} \cos \alpha_{1P}$$

$$Y_P = Y_1 + S_{1P} \sin \alpha_{1P}$$

$$M_x = M\beta \left((S_{1P})^2 \cos \alpha_{2P} + (S_{2P})^2 \cos \alpha_{1P} \right) / (\rho \sin \tau)$$

$$M_y = M\beta \left((S_{1P})^2 \sin \alpha_{2P} + (S_{2P})^2 \sin \alpha_{1P} \right) / (\rho \sin \tau)$$

$$H_1 = S_{1P} \tan \nu_1 + i + H_1 + (S_{1P})^2 (1-k) / 2R (\cos \nu_1)^2$$

$$H_2 = S_{2P} \tan \nu_2 + i + H_2 + (S_{2P})^2 (1-k) / 2R (\cos \nu_2)^2$$

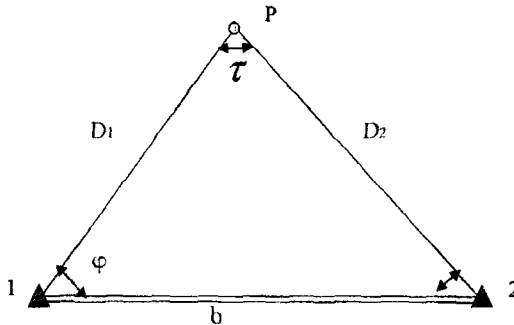
$k=0.13$ коэффициент вертикальной рефракции

R – радиус земли

$$H_{урав} = \left(H_1 \left(100 / (S_{1P} / 1000) \right)^2 + H_2 \left(100 / (S_{2P} / 1000) \right)^2 \right) / \left(\left(100 / (S_{1P} / 1000) \right)^2 + \left(100 / (S_{2P} / 1000) \right)^2 \right)$$

Решение линейной засечки

Исх. пункт	1	X=	3246,657		
		Y=	13730,496		
		D ₁ =	6,39		
Исх. пункт	2	X=	3239,086		
		Y=	13729,683		
		D ₂ =	6		
		M _s =	0,010		
Опр. пункт	P	X=	3242,035	M _x =	0,011
		Y=	13734,908	M _y =	0,009
Зеркальный пункт		X=	3243,077		
		Y=	13725,203		



Формулы для вычислений

$$b = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

$$\alpha_{12} = \arccos((X_2 - X_1) / b) \text{ если } (Y_2 - Y_1) \leq 0 \text{ то } \alpha = 360 - \alpha.$$

$$\varphi = \arccos((b^2 + D_1^2 - D_2^2) / (2 b D_1))$$

$$\alpha_{1P} = \alpha_{12} - \varphi$$

$$X_P = X_1 + D_1 \cos \alpha_{1P}$$

$$Y_P = Y_1 + D_1 \sin \alpha_{1P}$$

$$\tau = \alpha_{2P} - \alpha_{1P}$$

$$M_x = M_s \left(\frac{(\sin \alpha_{1P})^2 + (\sin \alpha_{2P})^2}{\sin \tau} \right)$$

$$M_y = M_s \left(\frac{(\cos \alpha_{1P})^2 + (\cos \alpha_{2P})^2}{\sin \tau} \right)$$

Литература

1. Инженерная геодезия / Под ред. Д.Ш. Михелева. – М.: Высшая школа, 2000. – 463 с.
2. Строительные нормы Республики Беларусь. Инженерные изыскания для строительства. СНБ 1.02.01-96. – Минск, 1996. – 110 с.
3. Инженерные изыскания для объектов дорожного строительства. П2-03 к СНБ 1.02.01-96. – Минск, 2003. – 130 с.

Содержание

1. Решение задач по картам	3
2. Обработка материалов инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений	9
3. Расчет разбивочных элементов для выноса проекта сооружения в натуру и оценка точности выносимых пунктов	19
4. Применение ПЭВМ для других, наиболее распростра- ненных инженерно-геодезических работ	22
ПРИЛОЖЕНИЯ	23
Литература	35

Учебное издание

ПРИМЕНЕНИЕ ПЭВМ
ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Методические указания
для студентов I курса строительных специальностей

Составители:

МИХАЙЛОВ Владимир Иванович
МАРХВИДА Владимир Георгиевич
ГАРМАЗА Ольга Евгеньевна

Редактор Н.В. Артюшевская
Технический редактор О.В. Дубовик
Компьютерная верстка О.В. Дубовик

Подписано в печать 18.10.2007.

Формат 60×84^{1/16}. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 1,64. Тираж 100. Заказ 467.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Независимости, 65.