

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК)

Учебно-методическое пособие по дисциплине
ГЕОДЕЗИЯ:
методические указания по выполнению контрольной работы №3
для студентов заочной формы обучения

по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование

Составители: Алексашина Е.В., доцент кафедры геодезии, к.т.н.
Клыпин И.А., доцент кафедры геодезии, к.т.н.
Козлова Е.А., старший преподаватель кафедры геодезии

*Рекомендовано к использованию в учебном процессе МИИГАиК
решением Редакционно-издательского совета
(протокол № __ от «__» февраля 2021 г.)*

Рецензенты: Литвиненко М.В., декан факультета дистанционных форм обучения
МИИГАиК, д.п.н.
Рогова Н.С., доцент кафедры инженерных изысканий и геоэкологии
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н.

Москва, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ТРЕБОВАНИЯ К ЗНАНИЯМ, УМЕНИЯМ, КОТОРЫЕ СТУДЕНТ ДОЛЖЕН БУДЕТ ПРОДЕМОНСТРИРОВАТЬ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	3
УСЛОВИЯ ДОПУСКА РАБОТЫ К ЗАЩИТЕ И ОБЩИЙ ПОРЯДОК ДОПУСКА ВЫПОЛНЕННЫХ СТУДЕНТАМИ РАБОТ К ЗАЩИТЕ.....	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №3	5
1. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ	5
1.1. Общие сведения	5
1.1.1. Методика нивелирования IV класса	5
1.1.2. Методика нивелирования III класса	6
1.2. Предобработка полевых измерений	7
1.2.1. Порядок записи на страницах журнала нивелирования IV класса	8
1.2.2. Порядок записи на страницах журнала нивелирования III класса	12
1.3. Камеральная обработка измерений.....	12
1.3.1. Уравнивание одиночного нивелирного хода	13
1.3.2. Уравнивание нивелирной сети способом последовательных приближений	20
2. СВЕТОДАЛЬНОМЕРНАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ	36
2.1. Общие сведения	36
2.2. Определение длин линий, измеренных светодальномером	39
2.3. Установление рабочих координат пунктов полигонометрического хода	43
2.3.1. Вычисления для полигонометрического хода с угловой привязкой	45
2.3.2. Вычисления для полигонометрического хода без угловой привязки.....	48
ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №3	54
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №3	57
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	58
Приложение 1. Пример оформления страницы журнала нивелирования IV класса	59
Приложение 2. Пример уравнивания одиночного нивелирного хода	60
Приложение 3. Пример уравнивания нивелирной сети способом последовательных приближений.....	62
Приложение 4. Пример определения длин линий, измеренных светодальномером	63
Приложение 5. Пример вычисления рабочих координат пунктов полигонометрического хода без угловой привязки.....	64
Приложение 6. Макет титульного листа контрольной работы	66
Приложение 7. Индивидуальные варианты задания №1	67
Приложение 8. Индивидуальные варианты задания №2	69
Приложение 9. Индивидуальные варианты задания №3	71
Приложение 10. Индивидуальные варианты задания №4	75
Приложение 11. Индивидуальные варианты задания №5	77

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Учебным планом-графиком направления 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» для студентов II курса предусмотрено выполнение контрольной работы №3 по дисциплине «геодезия». Она выполняется студентами самостоятельно до начала экзаменационной сессии и присылается на проверку.

Данное учебно-методическое пособие является переработанным и дополненным переизданием учебно-методического пособия 2010 года [8].

ТРЕБОВАНИЯ К ЗНАНИЯМ, УМЕНИЯМ, КОТОРЫЕ СТУДЕНТ ДОЛЖЕН БУДЕТ ПРОДЕМОНСТРИРОВАТЬ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

По результатам самостоятельной учебно-познавательной деятельности в ходе выполнения контрольной работы №3 студент должен:

Знать	существующие и создаваемые системы координат для построения государственных геодезических сетей; сущность и значение геодезической информации
Уметь	обеспечивать единую систему координат на территориях промышленных площадок, городов и других участков земной поверхности; работать с компьютером как средством управления информацией
Владеть	методами полевых и камеральных работ по созданию, развитию и реконструкции государственных геодезических, нивелирных, гравиметрических сетей и координатных построений специального назначения; основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации

УСЛОВИЯ ДОПУСКА РАБОТЫ К ЗАЩИТЕ И ОБЩИЙ ПОРЯДОК ДОПУСКА ВЫПОЛНЕННЫХ СТУДЕНТАМИ РАБОТ К ЗАЩИТЕ

Порядок допуска к защите контрольной работы №3 во время очных занятий:

<i>Результат проверки</i>	<i>Действия студента</i>
Работа допущена к защите без исправлений	Сделав исправления в работе, где это указано преподавателем, студент не присылает повторно работу на проверку, а приносит исправленную работу на очные занятия в распечатанном виде для защиты
Работа допущена к защите с исправлениями	
Работа не допущена к защите	Сделав исправления в работе, где это указано преподавателем, студент присылает работу на проверку повторно , до тех пор, пока работа не будет допущена к защите без исправлений или с незначительными исправлениями

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №3

1. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Основной принцип геометрического нивелирования — измерение превышения горизонтальным визирным лучом. Различают два вида геометрического нивелирования: из середины и вперёд. Средства измерения, реализующие данный принцип называются нивелирами. Вычисляемой величиной при этом является высота закреплённого на местности пункта [1].

1.1. Общие сведения

Согласно [3], на территории России высоты пунктов вычисляются в Балтийской системе нормальных высот. Совокупность этих пунктов образует Государственную нивелирную сеть, которая разделяется по назначению и точностным характеристикам на четыре класса. Измерение превышений выполняется по нивелирным линиям, образующим полигоны, периметры которых регламентируются Инструкцией [3].

Нивелирные сети III и IV классов прокладывают внутри полигонов высшего класса, как отдельными линиями, так и в виде системы линий, при этом сети и линии должны опираться не менее чем на два репера высшего класса.

Пункты нивелирования III и IV классов используются в качестве высотного обоснования при производстве крупномасштабных топографических съёмок.

Порядок производства работ при нивелировании III и IV классов изложен в Инструкции [3].

1.1.1. Методика нивелирования IV класса

Превышение по нивелирной линии измеряется последовательным нивелированием от станции к станции в одном направлении, реализовывая вид нивелирования «из середины». Это означает равенство расстояний от нивелира до реек на каждой станции. Случайная составляющая средней квадратической ошибки (СКОш) измерения превышения на 1 км хода не должна превышать 10 мм. Для обеспечения требуемой точности приборы должны иметь увеличение зрительной трубы не менее 20*, диапазон работы компенсатора 15', коэффициент нитяного дальномера равный 100 [3]. Нивелиры и рейки должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10528-90.

Работа на станции начинается с установки прибора в рабочее положение и реек на фиксированные точки земной поверхности. При нивелировании важно направление нивелирной линии, по этой причине на станции различают рейки: задняя по ходу и передняя по ходу. При переходе на следующую станцию обяза-

тельно чередование реек. Рейки устанавливают отвесно по уровню на костыли или башмаки, а на участках с рыхлым и заболоченным грунтом — на колья.

Отсчёт по рейке — это расстояние в миллиметрах от начала рейки до соответствующей нити на изображении рейки. Средняя нить сетки нитей является основной при измерении превышений, так как определяет положение визирной оси. Отсчёт по верхней нити берётся для получения информации о расстоянии от нивелира до рейки, которое принято называть «плечо».

Порядок взятия отсчётов следующий:

- задняя рейка, чёрная сторона, верхняя нить;
- задняя рейка, чёрная сторона, средняя нить;
- передняя рейка, чёрная сторона, верхняя нить;
- передняя рейка, чёрная сторона, средняя нить;
- передняя рейка, красная сторона, средняя нить;
- задняя рейка, красная сторона, средняя нить.

После записи отсчётов непосредственно на станции вычисляется среднее значение превышения со следующими контролями:

- нормальная длина визирного луча 100 м;
- неравенство плеч на станции не должно превышать 5 м;
- накопление неравенства плеч по секции не должно превышать 10 м;
- минимальная высота визирного луча над подстилающей поверхностью 0.2 м;
- расхождение в значениях превышений по чёрной и красной сторонам реек 5 мм.

1.1.2. Методика нивелирования III класса

Превышение по нивелирной линии измеряется в прямом и обратном направлениях. Случайная составляющая СКОш измерения превышения на 1 км хода не должна превышать 5 мм. Для обеспечения требуемой точности приборы должны иметь увеличение зрительной трубы не менее 24*, диапазон работы компенсатора 15', коэффициент нитяного дальномера равный 100 [3]. Нивелиры и рейки должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10528-90.

Работа на станции начинается с установки прибора в рабочее положение и реек на фиксированные точки земной поверхности. Рейки устанавливаются в отвесное положение по уровню на костыли или башмаки в промежуточных точках нивелирной линии, а на участках с рыхлым и заболоченным грунтом — на колья.

Порядок взятия отсчётов следующий:

- задняя рейка, чёрная сторона, средняя нить;
- задняя рейка, чёрная сторона, верхняя нить;
- задняя рейка, чёрная сторона, нижняя нить;

- передняя рейка, чёрная сторона, средняя нить;
- передняя рейка, чёрная сторона, верхняя нить;
- передняя рейка, чёрная сторона, нижняя нить;
- передняя рейка, красная сторона, средняя нить;
- задняя рейка, красная сторона, средняя нить.

После записи отсчётов непосредственно на станции вычисляется среднее значение превышения со следующими контролями:

- нормальная длина визирного луча 75 м;
- неравенство плеч на станции не должно превышать 2 м;
- накопление неравенства плеч по секции не должно превышать 5 м;
- минимальная высота визирного луча над подстилающей поверхностью 0.3 м;
- расхождение в значениях превышений по чёрной и красной сторонам реек 3 мм;
- полусумма отсчётов по верхней и нижней нитям не должна отличаться от отсчёта по средней нити более чем на 3 мм.

1.2. Предобработка полевых измерений

Предварительная обработка, или предобработка, полевых измерений является первым этапом камеральных работ и при нивелировании заключается в подготовке результатов измерений для составления схемы геодезического построения. Предобработка в нивелировании включает в себя три действия, а именно:

- проверка вычислений на каждой станции;
- выполнение постраничного контроля вычисления средних превышений на станциях;
- выполнение посекционного контроля вычисления суммы превышений в постраничных контролях.

Следует учитывать, что при нечетном количестве станций, при контрольных вычислениях в значения полусуммы превышений нужно вводить половину разности высот нулей пары реек.

Составление схемы хода является вторым обязательным этапом камеральных работ. Это графический документ, на котором отображается геометрия построения и указываются все результаты полевых измерений, названия исходных и определяемых пунктов, а также длины нивелирных линий и отметки исходных пунктов.

Важно различать нивелирные построения по геометрии: одиночный нивелирный ход, все определяемые пункты в котором связаны последовательно между собой отдельными секциями, и нивелирную сеть, отдельные определяемые пункты в которой связаны ходами с тремя или более другими определяемыми или исходными пунктами. В нивелирном ходе результатом измерений является превы-

шение по секции. В нивелирной сети результатом измерений являются превышения по ходам, образующим сеть. Результатом вычислений являются высоты определяемых пунктов, в отдельных ходах — это пункты, закрепляющие секции хода, а в сетях — это, прежде всего, узловые точки.

1.2.1. Порядок записи на страницах журнала нивелирования IV класса

При производстве отсчётов на станции нивелирования IV класса запись ведётся в журналы по образцу, представленному в Приложении 1 или в Инструкции [3, приложение 31]. В круглых скобках указан порядок записи при работе на станции. Так с (1) по (6) — это отсчёты по рейкам.

Высота визирного луча над подстилающей поверхностью отображается в (2) и (4) — отсчётах по средней нити по чёрным сторонам реек. В примере минимальное значение из обозначенных двух отсчётов для первой станции составляет 496 мм, что удовлетворяет допуску для нивелирования IV класса в 0,2 м.

Последующие вычисления выполняются непосредственно на станции, сохраняя рабочим положение прибора. Для исключения грубых ошибок в отсчётах проверяется соблюдение полевых контролей. Вычисляются расстояния до реек:

$$\begin{cases} (7) = (1) - (2); \\ (8) = (3) - (4). \end{cases}$$

Эти расстояния получаются в миллиметровых делениях реек и составляют половину дальномерного отсчёта. Для перехода к полному дальномерному отсчёту и единицам длины на местности необходимо устно выполнить следующие действия с учётом коэффициента нитяного дальномёра 100:

$$\begin{cases} 2 \cdot (7) \cdot 100; \\ 2 \cdot (8) \cdot 100. \end{cases}$$

Так для примера, представленного в Приложении 1, на первой станции получим следующие расстояния от нивелира до задней и передней реек:

$$\begin{cases} 2 \cdot 102 \text{ мм} \cdot 100 = 20400 \text{ мм} = 20,4 \text{ м}; \\ 2 \cdot 100 \text{ мм} \cdot 100 = 20000 \text{ мм} = 20,0 \text{ м}. \end{cases}$$

Таким образом, длина визирного луча не превышает 100 м. Неравенство плеч на станции составляет 0,4 м, что не превышает допуска 5 м. Накопление неравенства плеч составляет 0,4 м, что не превышает допуска 10 м.

В журнале эти значения записываются через наклонную черту как

$$+2/+2.$$

Числитель отражает неравенство плеч на станции и определяется как

$$(22a) = (7) - (8).$$

Знаменатель отражает накопление неравенства плеч по секции и определяется как

$$(22б) = \sum_1^i (22a).$$

Где i — номер текущей станции.

С учётом коэффициента нитяного дальномера и требований Инструкции [3] для нивелирования IV класса и для числителя, и знаменателя при нивелировании IV класса можно установить допуски в 20 и 50 дальномерных единиц, соответственно (аналоги предельных значений для неравенства плеч на станции и его накопления по секции в дальномерных единицах).

Далее вычисляются значения пяток реек:

$$\begin{cases} (9) = (6) - (2) = 5196 \text{ мм} - 0496 \text{ мм} = 4700 \text{ мм}; \\ (10) = (5) - (4) = 7193 \text{ мм} - 2392 \text{ мм} = 4801 \text{ мм}. \end{cases}$$

Затем вычисляются превышения по чёрной и красной сторонам реек согласно основной формуле геометрического нивелирования из середины

$$h = a - b. \quad (1.1)$$

Где a — отсчёт по средней нити по задней рейке;

b — отсчёт по средней нити по передней рейке.

$$\begin{cases} (11) = (2) - (4) = 0496 \text{ мм} - 2392 \text{ мм} = -1896 \text{ мм}; \\ (12) = (6) - (5) = 5196 \text{ мм} - 7193 \text{ мм} = -1997 \text{ мм}. \end{cases}$$

Далее вычисляется оценка разности пяток реек на станции по основной и контрольной формулам (оба значения должны совпасть):

$$\begin{cases} (14) = (11) - (12) = -1896 \text{ мм} - (-1997 \text{ мм}) = +101 \text{ мм}; \\ (14) = (10) - (9) = 4801 \text{ мм} - 4700 \text{ мм} = +101 \text{ мм}. \end{cases}$$

Разность полученной оценки с номинальным значением разности пятков реек не должна превышать установленного допуска:

$$|(14) - d| = |101 \text{ мм} - 100 \text{ мм}| = 1 \text{ мм} < 5 \text{ мм}.$$

Если бы контроль не выполнялся, всю последовательность измерений на станции необходимо было бы повторить заново, а результаты измерений, приведшие к невыполнению контроля, забраковать.

Далее вычисляется среднее значение превышения на станции:

$$\frac{(11) + (12) \pm d}{2} = \frac{-1896 \text{ мм} - 1997 \text{ мм} + 100 \text{ мм}}{2} = -1896 \text{ мм}.$$

Знак, с которым учитывается номинальное значение разности пятков реек, берётся от оценки (14).

По завершении всех вычислений в журнале для текущей станции и при выполнении всех контролей исполнитель с прибором переходит для установки следующей станции. Реечник с передней по ходу рейкой остаётся в прежнем положении, и теперь эта рейка будет задней по ходу. Другой реечник устанавливает свою рейку вперёд по ходу на костыль или башмак, стараясь соблюсти при этом равенство плеч на следующей станции в пределах 5 м. Таким образом, осуществляется чередование реек от станции к станции, которое является обязательным при последовательном нивелировании линии.

Дальнейшие вычисления на странице журнала относятся к первому этапу камеральных работ, а именно, проверке всех вычислений, выполненных в поле, постраничному и посекционному контролю.

Для вычислений, связанных с постраничным контролем, на странице журнала нивелирования IV класса обычно выделяются отдельные строки.

Вначале суммируются все отсчёты по средней нити:

$$\left\{ \begin{array}{l} (15) = \sum (2) + \sum (6) = 22873 \text{ мм}; \\ (16) = \sum (4) + \sum (5) = 36894 \text{ мм}. \end{array} \right.$$

Затем суммируются все значения превышений с учётом знаков:

$$(17) = \sum (11) + \sum (12) = -1896 \text{ мм} - 1997 \text{ мм} - 1345 \text{ мм} - 1244 \text{ мм} - 1936 \text{ мм} - 2037 \text{ мм} - 1833 \text{ мм} - 1733 \text{ мм} = -14021 \text{ мм}.$$

После суммируются значения средних превышений с учётом знаков:

$$(18) = \sum(13) = -1896 \text{ мм} - 1345 \text{ мм} - 1936 \text{ мм} - 1834 \text{ мм} = -7011 \text{ мм}.$$

Далее вычисляется разность:

$$(19) = (15) - (16) = 22873 \text{ мм} - 36894 \text{ мм} = -14021 \text{ мм}.$$

Вычислительный контроль заключается в проверке равенства

$$(19) = (17).$$

В заключении вычисляется полусумма значений всех превышений с округлением до целых:

$$(20) = (17)/2 = -14021 \text{ мм}/2 = -7010 \text{ мм}.$$

Заключительный контроль предполагает выполнение проверку равенства

$$(20) = (18).$$

Равенство должно строго выполняться при чётном количестве станций на странице. При нечётном количестве станций (20) и (18) должны быть равны с точностью до определённой константы, равной половине номинальной разности пятков реек:

$$(20) = (18) \pm d/2.$$

В обоих случаях допускается отличие (20) от (18) не более 2 мм из-за влияния ошибок округления.

Параллельно с этим вычисляется сумма дальномерных расстояний от нивелира до реек на станциях:

$$(21) = \sum(7) + \sum(8) = 102 \text{ мм} + 100 \text{ мм} + 76 \text{ мм} + 77 \text{ мм} + \\ + 68 \text{ мм} + 67 \text{ мм} + 65 \text{ мм} + 65 \text{ мм} = 620 \text{ мм}.$$

По окончании всех измерений по секции выполняются вычисления, связанные с посекционным контролем, под который на странице журнала нивелирования IV

класса обычно отводятся самые последние строки.

Посекционный контроль во многом аналогичен постраничному и, по сути, представляет собой суммы значений, полученных при постраничных контролях, выполненных для станций, входящих в текущую секцию. Вычисляют $\Sigma(15)$, $\Sigma(16)$, $\Sigma(17)$, $\Sigma(18)$, $\Sigma(21)$, а также

$$(23) = \Sigma(15) - \Sigma(16) \text{ и}$$

$$(24) = 0,5 \cdot \Sigma(17).$$

Вычислительные контроли при этом заключаются в проверке следующих равенств:

$$(23) = \Sigma(17) \text{ и}$$

$$(24) = \Sigma(18).$$

Последнее равенство по аналогии с постраничным контролем строго выполняться при чётном количестве станций в секции. При нечётном количестве станций (24) и $\Sigma(18)$ должны быть равны с точностью до определённой константы, равной половине номинальной разности пятков реек:

$$(24) = \Sigma(18) \pm d/2.$$

Суммарное превышение по секции при этом будет, как раз, определяться как $\Sigma(18)$.

Длина нивелирной линии при этом по секции вычисляется с учётом коэффициента нитяного дальномера как

$$(25) = 0,0002 \cdot \Sigma(21).$$

Значение получается в километрах.

В случае, когда все измерения по секции записаны на одной странице, посекционный контроль совпадает с постраничным и отдельно не выполняется.

1.2.2. Порядок записи на страницах журнала нивелирования III класса

С оформлением страниц журнала нивелирования III класса студентам заочной формы обучения предлагается ознакомиться самостоятельно на основе Инструкции [3] и Практикума [2].

1.3. Камеральная обработка измерений

Камеральные работы предполагают обработку рядов измерений, включаю-

щую в себя следующие этапы:

- оценка качества нивелирования,
- вычисление наиболее надёжных значений отметок определяемых пунктов,
- оценка точности измерений,
- оценка точности вычисления наиболее надёжных значений.

Оценка качества нивелирования выполняется с целью выявления грубых ошибок в полевых измерениях.

Если при обработке ряда измерений рассматривается геодезическое построение, в котором отдельные его элементы (например, высоты определяемых пунктов) могут быть вычислены более одного раза как функции от разных комбинаций выполненных измерений, — то есть имеются избыточные измерения, — то обработка ряда измерений в таком случае называется уравниванием.

Общая теория уравнивания геодезических сетей изучается в рамках курса теории математической обработки геодезических сетей и подробно освещена в соответствующем учебнике (см., например, [7]). В рамках же курса геодезии рассматриваются лишь уравнивание одиночного нивелирного хода, а также нивелирной сети с небольшим количеством узловых точек.

Наиболее надёжные значения, вычисляемые при уравнивании, принято также называть уравненными значениями.

1.3.1. Уравнивание одиночного нивелирного хода

Одиночный нивелирный ход представляет собой геодезическое построение на местности с целью определения высотного положения закреплённых на земной поверхности пунктов. В зависимости от типа знака эти пункты называются реперы или марки, по способу закрепления они могут быть грунтовыми или стенными. Одиночный, или отдельный, нивелирный ход должен начинаться и заканчиваться на знаках с известными высотами, принадлежащих к высотным построениям выше по классу точности для исключения влияния ошибок исходных данных на измерения. Составным звеном нивелирного хода является секция. Результаты измерения в нивелировании — значения превышений по секции, определённые способом геометрического нивелирования. В процессе последовательного нивелирования определяется длина каждой секции. Значение длины секции необходимо для оценки качества нивелирования, вычисления уравненных значений высот определяемых пунктов и оценки точности по результатам уравнивания. Таким образом, проложение нивелирного хода означает проведение измерений превышений по секциям и вычисление высот определяемых пунктов, с оценкой точности выполненных измерений и вычислений. Для вычисления наиболее надёжных значений высот и оценки точности необходимо выполнить уравнивание.

1.3.1.1. Оценка качества нивелирования

Основным критерием качества измерений в одиночном нивелирном ходе является невязка f_h в превышениях по ходу, которая вычисляется как

$$f_h = [h]_{\text{изм.}} - [h]_{\text{теор.}} = [h] - (H_{\text{кон.}} - H_{\text{нач.}}), \quad (1.2)$$

где $H_{\text{нач.}}$ — значение высоты начального исходного пункта;

$H_{\text{кон.}}$ — значение высоты конечного исходного пункта;

$[h]_{\text{изм.}} = [h]$ — практическая сумма превышений по ходу, полученная по результатам их измерений;

$[h]_{\text{теор.}}$ — теоретическая сумма превышений по ходу.

Полученное значение невязки в превышениях по ходу сравнивают с допустимым, проверяя выполнение соотношения

$$|f_h| \leq \text{доп. } f_h, \quad (1.3)$$

где доп. f_h — допустимое значение невязки, которое определяются в соответствии с требованиями Инструкции [3] в зависимости от класса нивелирования. Формулы для его вычисления в зависимости от класса нивелирования приведены в таблице 1.1, где L — во всех случаях длина хода в километрах, определяемая как сумма длин всех его секций.

Таблица 1.1 Формулы для вычисления допустимых значений невязок

класс нивелирования	допустимая невязка (мм)
I	$2\sqrt{L}$
II	$5\sqrt{L}$
III	$10\sqrt{L}$
IV	$20\sqrt{L}$
техническое	$50\sqrt{L}$

Если неравенство (1.3) не выполняется, необходимо выявить грубую ошибку в измерениях и исключить её прежде, чем возможно будет продолжить выполнение уравнивания.

При измерении превышения по секции прямо и обратно, например, в нивелировании III класса, до вычисления невязки в превышениях по ходу проверяется ещё один критерий качества измерений по разностям превышений прямо и об-

ратно по секции. Так как истинные значения превышений прямо и обратно по одной секции равны по абсолютной величине и противоположны по знаку, обозначенная разность вычисляется как

$$d_i = h_{\text{пр.},i} + h_{\text{обр.},i}, \quad (1.4)$$

где $h_{\text{пр.},i}$ — результат измерения превышения прямо по i -ой секции;

$h_{\text{обр.},i}$ — результат измерения превышения прямо по i -ой секции.

Допустимое значение разности d_i вычисляется согласно Инструкции [4] и для нивелирования III класса будет равно

$$\text{доп. } d_i = 10 \text{ мм} \sqrt{L_i}, \quad (1.5)$$

где L_i — длина секции в км.

Верность неравенства

$$|d_i| \leq \text{доп. } d_i \quad (1.6)$$

указывает на отсутствие грубых ошибок в измерении превышений по секции.

Такая оценка качества измерений выполняется для каждой секции. Только после этого возможно вычисление средних значений превышений по секциям и по ним уже вычисляется основной критерий качества, невязка в превышениях по ходу.

Если же все неравенства выполняются, можно переходить к вычислению уравненных значений отметок пунктов нивелирного хода.

1.3.1.2. Вычисление уравненных значений отметок пунктов нивелирного хода

Вообще, высота любого пункта есть сумма высоты другого пункта и превышения между ними:

$$H_j = H_{\text{исх.}} + h_j. \quad (1.7)$$

Результат измерения этого превышения неизбежно будетотягощён ошибкой.

По этой причине вычисляемые значения высот определяемых пунктов будут приближенными. Количество таких значений для одного пункта определяется числом исходных пунктов. В одиночном нивелирном ходе их два: начальный и конечный. Таким образом, возможно вычисление двух приближенных значений высоты пункта. Длины нивелирных линий, по которым измеряются превышения

для вычисления приближенных значений высот, различны. По этой причине эти значения будут неравноточными, собственно, как и сами превышения. Относительной характеристикой точности при этом выступит вес высоты.

А уравненное значение высоты определяемого пункта будет вычисляться по формуле среднего весового:

$$\bar{H}_j = \frac{H'_j p_{H'_j} + H''_j p_{H''_j}}{p_{H'_j} + p_{H''_j}}, \quad (1.8)$$

где H'_j, H''_j — приближенные значения высоты j -го пункта;

$p_{H'_j}, p_{H''_j}$ — веса вычислений приближенных значений высоты j -го пункта.

Данная формула лежит в основе вывода правила вычисления уравненных значений высот определяемых пунктов одиночного нивелирного хода [1]:

$$\bar{H}_j = H_{\text{нач.}} - \frac{f_h}{[L]} [L]_1^j. \quad (1.9)$$

Таким образом, уравненное значение высоты определяемого пункта вычисляется путём распределения невязки в превышениях по ходу с обратным знаком пропорционально длинам секций.

Это правило реализовано в следующем алгоритме:

а) вычисляются (до целых миллиметров) значения поправок в измерения и записываются со своим знаком:

$$v_i = -\frac{f_h}{[L]} [L]_1^i, \quad (1.10)$$

где $[L]$ — сумма длин всех секций в ходе (по сути, общая длина хода);

$[L]_1^i$ — сумма длин секций с 1-ой по i -ую;

б) осуществляется контроль вычисления поправок (сумма значений поправок должна равняться с обратным знаком значению невязки в превышениях по ходу):

$$[v] = -f_h. \quad (1.11)$$

в) вычисляются уравненные значения измеренных превышений:

$$\bar{h}_i = h_j + v_i \quad (1.12)$$

г) осуществляется контроль вычисления уравнированных значений измеренных превышений:

$$[\bar{h}] = [h]_{\text{теор.}} = (H_{\text{кон.}} - H_{\text{нач.}}); \quad (1.13)$$

д) вычисляются уравнированные значения высот определяемых пунктов:

$$\bar{H}_j = \bar{H}_{j-1} + \bar{h}_j, \quad (1.14)$$

при этом

$$\bar{H}_0 = H_{\text{нач.}}; \quad (1.15)$$

е) осуществляется контроль вычисления уравнированных значений высот определяемых пунктов:

$$\bar{H}_{n-1} + \bar{h}_n = H_{\text{кон.}} \quad (1.16)$$

1.3.1.3. Оценка точности измерений в ходе

Основной характеристикой точности измерений в одиночном нивелирном ходе является СКОш измерения превышения на 1 км хода, которая может быть вычислена как

$$m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{d^2}{L} \right]}. \quad (1.17)$$

Получаемое по этой формуле значение обычно округляется до 0,1 мм.

1.3.1.4. Оценка точности вычисления уравнированных значений отметок

СКОш вычисления уравнированных значений отметок определяемых пунктов находятся по формуле

$$m_{\bar{H}_j} = \frac{m_{\text{км}}}{\sqrt{p_{\bar{H}_j}}}, \quad (1.18)$$

где $p_{\bar{H}_j}$ — вес вычисления уравнированного значения отметки j -ого определяемого пункта, который равен сумме весов

$$p_{\bar{H}_j} = p_{H'_j} + p_{H''_j}, \quad (1.19)$$

а на практике может быть получен по формуле

$$p_{\bar{H}_j} = \frac{[L]_1^i [L]_{i+1}^n}{[L]}. \quad (1.20)$$

Где $[L]_1^i$ — сумма длин секций с 1-ой по i -ую;

$[L]_{i+1}^n$ — сумма длин секций с $(i - 1)$ -ой по n -ую.

Длины секций при вычислении сумм рассматриваются в км, а значения весов вычисляются с сохранением двух знаков после запятой.

1.3.1.5. Пример уравнивания одиночного нивелирного хода

Выполним уравнивание представленного на рисунке 1.1 нивелирного хода, состоящего из пяти секций, по каждой из которых было выполнено измерение превышения по методике нивелирования III класса. Исходные данные и результаты измерений представлены в таблице 1.2, соответственно.

Пример уравнивания этого хода приведён в Приложении 2.

На основе исходных данных и обрабатываемых измерений составляется схема хода с контролем. Затем информация со схемы нивелирного хода переносится в ведомость превышений и высот реперов нивелирования III класса, которая составляется по образцу, представленному в Инструкции [3, стр. 127].

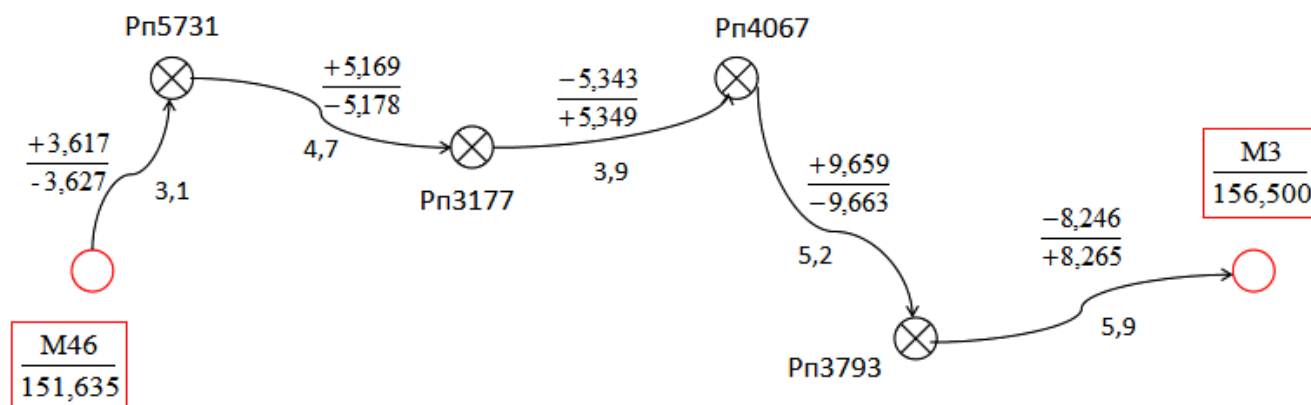


Рисунок 1.1. Схема нивелирной сети

Таблица 1.2. Исходные данные и результаты измерений

Номер секции	Название марок и реперов	Отметки исходных пунктов	Результаты измерений превышений по секциям, м		Длины секций, км
			прямо	обратно	
	М46	151,635			
1			+3,617	−3,627	3,1
	Рп5731				
2			+5,169	−5,178	4,7
	Рп3177				
3			−5,343	+5,349	3,9
	Рп4067				
4			+9,659	−9,663	5,2
	Рп3793				
5			−8,246	+8,265	5,9
	М3	156,500			

Стоит иметь в виду, что в Инструкции [3] невязка в превышениях по ходу и допустимая невязка обозначены как $V_{\text{получ.}}$ и $V_{\text{доп.}}$, соответственно. При уравнивании одиночного нивелирного хода эти обозначения следует считать тождественными таковым, приводимым в данном учебно-методическом пособии:

$$V_{\text{получ.}} \equiv f_h;$$

$$V_{\text{доп.}} \equiv \text{доп. } f_h.$$

3-ью колонку ведомости оставляем не заполненной.

Число штативов по секциям выписывается в 4-ую колонку из полевого журнала.

В строке «Итого по линии» высчитываются суммарные значения в соответствующих колонках. Ниже рассчитывается невязка и СКОш измерения превышения на 1 км хода.

Оценка точности вычислений оформляется отдельной ведомостью.

1.3.2. Уравнивание нивелирной сети способом последовательных приближений

Способ последовательных приближений представляет собой адаптированный для нивелирных сетей вариант разработанного В. В. Поповым и известного больше, как способ узлов, итерационного алгоритма решения системы нормальных уравнений поправок при уравнивании геодезических сетей по методу наименьших квадратов параметрическим способом [7]. В данном учебно-методическом пособии рассматривается практическое применение данного способа безотносительно теории метода наименьших квадратов, приведён пример решения поставленной задачи. Также пример вычислений при уравнивании нивелирной сети приведён в практикуме по геодезии ([2], стр. 77–82).

1.3.2.1. Оценка качества нивелирования

Для нивелирной сети проверка соответствия выполненных измерений заданному классу нивелирования выполняется по невязкам в полигонах, каждый из которых представляет собой укрупнённый ход, состоящий из нескольких обычных ходов, начинающийся и заканчивающийся на исходных марках (исключение составляют лишь замкнутые полигоны, подробнее о которых будет сказано ниже.) При этом ни один из рассматриваемых полигонов не должен представлять собой комбинацию из других полигонов, рассматриваемых вместе с ним. На схемах нивелирных сетей полигоны обычно обозначают римскими цифрами, стрелками указывая направление их обхода (от начальной исходной марки к конечной). Общее количество рассматриваемых полигонов определяется числом r избыточных измерений в сети [7]:

$$r = n - k, \quad (1.21)$$

где n — общее число измерений в сети;

k — число узловых точек.

Значения невязок по полигонам I, II, ..., r могут быть определены как

$$\begin{cases} w_I = [\pm h]_I - (H_{\text{кон.,I}} - H_{\text{нач.,I}}); \\ w_{II} = [\pm h]_{II} - (H_{\text{кон.,II}} - H_{\text{нач.,II}}); \\ \vdots \\ w_r = [\pm h]_r - (H_{\text{кон.,r}} - H_{\text{нач.,r}}). \end{cases} \quad (1.22)$$

Где $(H_{\text{кон.,I}} - H_{\text{нач.,I}}), (H_{\text{кон.,II}} - H_{\text{нач.,II}}), \dots, (H_{\text{кон.,r}} - H_{\text{нач.,r}})$ — разности значений отметок исходных марок, которые рассматриваются как начальный и конечный пункты полигона I, II, ..., r , соответственно, исходя из выбранного направления его обхода;

$[\pm h]_I, [\pm h]_{II}, \dots, [\pm h]_r$ — сумма результатов измерений превышений по ходам, входящим в полигон I, II, ..., r, соответственно;

выбор знака "+" или "-" определяется направлением измерения превышения по ходу (указывается стрелкой на схемах нивелирных сетей): если он совпадает с направлением обхода полигона, то выбирается знак "+", если не совпадает — знак "-".

При рассмотрении замкнутого полигона начальный и конечный пункты его обхода всегда совпадают (вне зависимости от направления обхода, по часовой стрелке или против неё). В таком случае разность значений исходных марок в формуле (1.22) не вычисляется, ибо гарантированно будет равна нулю. По этой же причине замкнутые полигоны могут рассматриваться не опирающимися ни на одну исходную марку.

Полученные значения невязок сравнивают с допустимыми, проверяя выполнение соотношений

$$\begin{cases} |w_I| \leq w_{\text{доп.,I}}; \\ |w_{II}| \leq w_{\text{доп.,II}}; \\ \vdots \\ |w_r| \leq w_{\text{доп.,r}}. \end{cases} \quad (1.23)$$

Где $w_{\text{доп.,I}}, w_{\text{доп.,II}}, \dots, w_{\text{доп.,r}}$ — допустимые значения невязок по полигонам, которые определяются в соответствии с требованиями Инструкции [3] в зависимости от класса нивелирования. Формулы для их вычисления аналогичны таковым для вычисления допустимого значения невязки по ходу, в зависимости от класса нивелирования могут быть взяты из таблицы 1.1, но при этом L — во всех случаях общая длина полигона в километрах, определяемая как сумма длин всех входящих в него ходов.

Выполнение всех соотношений (1.23) указывает на соответствие рассматриваемых измерений заявленному классу нивелирования и возможность их дальнейшей обработки, а также на отсутствие в них грубых и систематических ошибок.

1.3.2.2. Вычисление уравненных значений отметок узловых точек

Наиболее надёжные значения каждой отметки узловой точки в нивелирной сети по способу последовательных приближений получаются путём последовательного уточнения их средних весовых значений. В каждом приближении среднее весовое значение отметки любой узловой точки определяется по значениям отметок, получаемых по всем ходам, примыкающим к этой узловой точке:

$$H_j^{(i)} = \frac{H_{j,a}^{(i)} p_{j,a} + H_{j,b}^{(i)} p_{j,b} + \dots + H_{j,k}^{(i)} p_{j,k} + H_{j,1} p_{j,1} + H_{j,2} p_{j,2} + \dots + H_{j,k_{\text{ид}}} p_{j,k_{\text{ид}}}}{[p]_j}, \quad (1.24)$$

где i — номер приближения,

$H_j^{(i)}$ — среднее весовое значение отметки j -ой узловой точки в i -ом приближении,

$H_{j,a}^{(i)}, H_{j,b}^{(i)}, \dots, H_{j,k}^{(i)}$ — значения j -ой узловой точки, вычисленные в i -ом приближении по результатам измерений превышений по ходам, связывающим j -ую узловую точку с узловыми точками $a, b, \dots, k$, соответственно;

$H_{j,1}, H_{j,2}, \dots, H_{j,k_{\text{ид}}}$ — значения j -ой узловой точки, полученные по результатам измерений превышений по ходам, связывающим j -ую узловую точку с исходными марками $1, 2, \dots, k_{\text{ид}}$, соответственно;

$p_{j,a}, p_{j,b}, \dots, p_{j,k}$ — веса измерений, по результатам которых были вычислены значения $H_{j,a}^{(i)}, H_{j,b}^{(i)}, \dots, H_{j,k}^{(i)}$ отметки j -ой узловой точки;

$p_{j,1}, p_{j,2}, \dots, p_{j,k_{\text{ид}}}$ — веса измерений, по результатам которых были получены значения $H_{j,1}, H_{j,2}, \dots, H_{j,k_{\text{ид}}}$ отметки j -ой узловой точки;

$[p]_j$ — сумма весов измерений превышений по примыкающим к j -ой узловой точке ходам.

Значения $H_{j,1}, H_{j,2}, \dots, H_{j,k_{\text{ид}}}$ отметки j -ой узловой точки получают непосредственно как

$$\begin{cases} H_{j,1} = H_1 \pm h_{j,1}; \\ H_{j,2} = H_2 \pm h_{j,2}; \\ \vdots \\ H_{j,k_{\text{ид}}} = H_{k_{\text{ид}}} \pm h_{j,k_{\text{ид}}}. \end{cases} \quad (1.25)$$

Где $h_{j,1}, h_{j,2}, \dots, h_{j,k_{\text{ид}}}$ — результаты измерения превышений по ходам, связывающим j -ую узловую точку с исходными марками $1, 2, \dots, k_{\text{ид}}$, соответственно;

выбор знака "+" или "-" определяется направлением измерения превышения по ходу (указывается стрелкой на схемах нивелирных сетей): если он "входит" в j -ую узловую точку, то выбирается знак "+", если "выходит" — знак "-".

Так как значения отметок исходных марок считаются безошибочными и не уточняются в процессе уравнивания, значения $H_{j,1}, H_{j,2}, \dots, H_{j,k_{\text{ид}}}$ отметки j -ой узловой точки устанавливаются лишь единожды и не меняются от приближения к приближению.

Значения $H_{j,a}^{(i)}, H_{j,b}^{(i)}, \dots, H_{j,k}^{(i)}$ отметки j -ой узловой точки получаются непосредственно как

$$\begin{cases} H_{j,a}^{(i)} = H_a^{(i-1) \vee (i)} \pm h_{j,a}; \\ H_{j,b}^{(i)} = H_b^{(i-1) \vee (i)} \pm h_{j,b}; \\ \vdots \\ H_{j,k}^{(i)} = H_k^{(i-1) \vee (i)} \pm h_{j,k}. \end{cases} \quad (1.26)$$

Где $h_{j,a}, h_{j,b}, \dots, h_{j,k}$ — результаты измерений превышений по ходам, связывающим j -ую узловую точку с узловыми точками $a, b, \dots, k$, соответственно;

выбор знака "+" или "-" также, как и ранее, определяется направлением измерения превышения по ходу;

$(i - 1) \vee (i)$ означает, что среднее весовое значение отметки узловой точки a, b или k берётся из предыдущего либо из текущего приближения, если это значение было определено в текущем приближении ранее.

В первом приближении значения $H_{j,a}^{(1)}, H_{j,b}^{(1)}, \dots, H_{j,k}^{(1)}$ отметки j -ой узловой точки не вычисляются по ходам, связанным с другими узловыми точками, если средние весовые значения отметок последних не были определены в этом приближении ранее.

Вычисления продолжаются до тех пор, пока для каждой узловой точки разность между средними весовыми значениями её отметки в двух последних приближениях окажется не более 0,3 мм, то есть

$$\left| H_j^{(i-1) \vee (i)} - H_j^{(i-2) \vee (i-1)} \right| \leq 0,3 \text{ мм}. \quad (1.27)$$

Средние весовые значения отметок узловых точек, полученные в последнем приближении, и будут являться наиболее надёжными, или уравненными, значениями этих отметок:

$$\bar{H}_j = H_j^{(i-1) \vee (i)} \quad (1.28)$$

1.3.2.3. Оценка точности измерений в сети

Точность измерений в любой геодезической сети характеризует СКОш единицы веса, которая в общем случае неравноточных измерений вычисляется по формуле Ф. В. Бесселя:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}}. \quad (1.29)$$

Значения поправок в измерения при этом находят путём вычитания из уравненных значений отметок узловых точек их значений, полученных по примыкающим к ним ходам из последнего приближения:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{j,a} = \bar{H}_j - H_{j,a}^{(i-1)\vee(i)}; \\ v_{j,b} = \bar{H}_j - H_{j,b}^{(i-1)\vee(i)}; \\ \vdots \\ v_{j,k} = \bar{H}_j - H_{j,k}^{(i-1)\vee(i)}; \\ v_{j,1} = \bar{H}_j - H_1; \\ v_{j,2} = \bar{H}_j - H_2; \\ \vdots \\ v_{j,k_{ид}} = \bar{H}_j - H_{k_{ид}}. \end{array} \right. \quad (1.30)$$

Контроль вычисления значений поправок осуществляется путём проверки для всех узловых точек выполнения соотношений

$$|[pv]_j| \leq \beta [p]_j, \quad (1.31)$$

где β — предельная ошибка округления среднего весового значения, при

$$[pv]_j = p_{j,a}v_{j,a} + p_{j,b}v_{j,b} + \dots + p_{j,k}v_{j,k} + p_{j,1}v_{j,1} + p_{j,2}v_{j,2} + \dots + p_{j,k_{ид}}v_{j,k_{ид}}. \quad (1.32)$$

Каждая поправка в измерение по ходу, связывающему узловые точки, может быть вычислена дважды. Полученные от разных узловых точек значения такой поправки будут отличаться по знаку, но в формуле (1.29) должно учитываться лишь одно из этих значений.

Для приближённой оценки точности вычисления СКОш единицы веса можно определить СКОш вычисления самой СКОш единицы веса:

$$m_\mu = \frac{\mu}{\sqrt{2r}}. \quad (1.33)$$

Для строгой оценки точности вычисления СКОш единицы веса выполняют дове-

рительное оценивание, изучаемое в курсе теории математической обработки геодезических измерений (подробнее см. [7]).

Так как основной характеристикой точности измерений в нивелировании служит СКОш измерения превышения на 1 км хода, её находят, исходя из её связи с СКОш единицы веса:

$$m_{\text{км}} = \frac{\mu}{\sqrt{C}}. \quad (1.34)$$

1.3.2.4. Оценка точности вычисления уравненных значений отметок

СКОш вычисления уравненных значений отметок узловых точек находятся по формуле

$$m_{\bar{H}_j} = \frac{\mu}{\sqrt{p_{\bar{H}_j}}}, \quad (1.35)$$

где $p_{\bar{H}_j}$ — вес вычисления уравненного значения отметки j -ой узловой точки, который, в свою очередь, можно установить приближённо по формуле В. П. Козлова [1]:

$$p_{\bar{H}_j} = [p]_j - \frac{p_{j,a}^2}{[p]_a} - \frac{p_{j,b}^2}{[p]_b} - \dots - \frac{p_{j,k}^2}{[p]_k}, \quad (1.36)$$

где $[p]_j$ — сумма весов измерений превышений по примыкающим к j -ой узловой точке ходам;

$[p]_a, [p]_b, \dots, [p]_k$ — суммы весов измерений превышений по ходам, примыкающим к узловым точкам $a, b, \dots, k$, соответственно;

$p_{j,a}, p_{j,b}, \dots, p_{j,k}$ — веса измерений по ходам, связывающим j -ую узловую точку с узловыми точками $a, b, \dots, k$, соответственно.

1.3.2.5. Пример уравнивания нивелирной сети способом последовательных приближений

Выполним уравнивание представленной на рисунке 1.2 нивелирной сети с тремя узловыми точками, двумя исходными марками и соединяющими их восьмью ходами, по каждому из которых было выполнено измерение превышения по методике нивелирования III класса. Исходные данные и результаты измерений представлены в таблицах 1.3 и 1.4, соответственно.

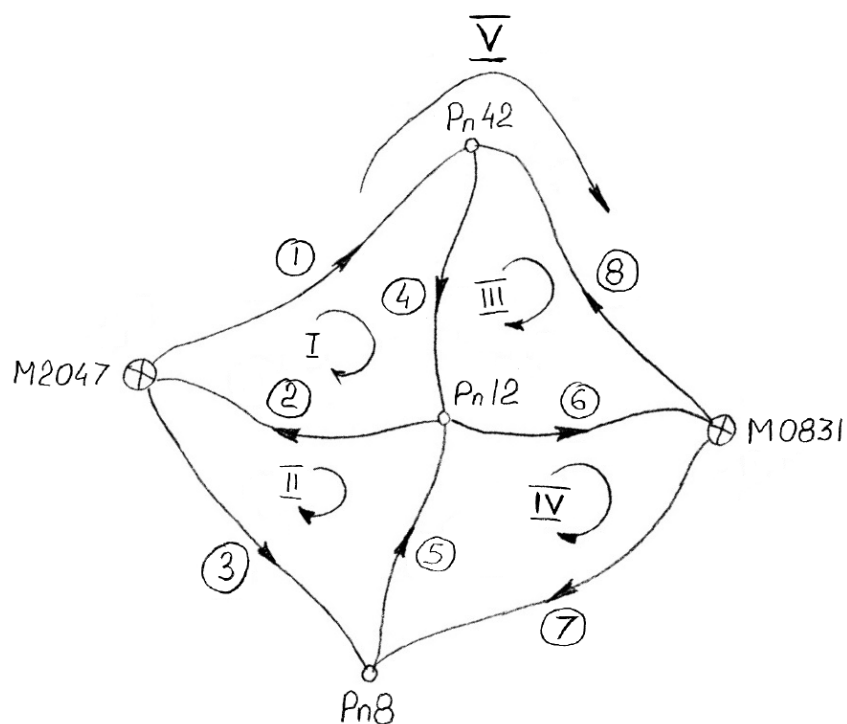


Рисунок 1.2. Схема нивелирной сети

Таблица 1.3 Исходные данные	
№ марки	H (м)
2047	348,187
0831	342,328

Таблица 1.4 Результаты измерений		
№	h (м)	L (км)
1	−4,280	10,7
2	+12,768	5,8
3	−0,325	6,3
4	−8,483	7,5
5	−12,438	7,7
6	+6,910	4,4
7	+5,539	9,3
8	+1,574	13,3

Для оценки качества нивелирования разобьём сеть на полигоны, исходя из числа избыточных измерений в сети:

$$r = n - k = 8 - 3 = 5.$$

Поэтому остановимся на комбинации из четырёх замкнутых и одного разомкнутого полигона, обозначим их на рисунке 1.2 римскими цифрами, стрелками укажем направление обхода этих полигонов. Значения невязок по этим полигонам будут равны:

$$\begin{cases} [\pm h]_{\text{I}} = h_1 + h_4 + h_2 = +0,005 \text{ м}; \\ [\pm h]_{\text{II}} = -h_2 - h_5 - h_3 = -0,005 \text{ м}; \\ [\pm h]_{\text{III}} = -h_4 - h_8 - h_6 = -0,001 \text{ м}; \\ [\pm h]_{\text{IV}} = h_5 + h_6 + h_7 = +0,011 \text{ м}; \\ [\pm h]_{\text{V}} = h_1 - h_8 = -5,854 \text{ м}. \end{cases}$$

Здесь $h_1, h_2, \dots, h_n$ — результаты измерений превышений по ходам $1, 2, \dots, n$, соответственно.

$$H_{\text{кон.,V}} - H_{\text{нач.,V}} = H_{\text{M0831}} - H_{\text{M2047}} = 342,328 \text{ м} - 348,187 \text{ м} = -5,859 \text{ м}.$$

Тогда с учётом вычисленных значений

$$\begin{cases} w_{\text{I}} = [\pm h]_{\text{I}} = +0,005 \text{ м} = +5 \text{ мм}; \\ w_{\text{II}} = [\pm h]_{\text{II}} = -0,005 \text{ м} = -5 \text{ мм}; \\ w_{\text{III}} = [\pm h]_{\text{III}} = -0,001 \text{ м} = -1 \text{ мм}; \\ w_{\text{IV}} = [\pm h]_{\text{IV}} = +0,011 \text{ м} = +11 \text{ мм}; \\ w_{\text{V}} = [\pm h]_{\text{V}} - (H_{\text{кон.,V}} - H_{\text{нач.,V}}) = -5,854 \text{ м} - (-5,859 \text{ м}) = +5 \text{ мм}. \end{cases}$$

Полученные значения невязок необходимо сравнить с допустимыми, исходя из класса нивелирования и общей длины каждого полигона, вычисляемой как сумма длин ходов, в этот полигон входящих:

$$\begin{cases} L_{\text{I}} = [L]_{\text{I}} = L_1 + L_4 + L_2 = 10,7 \text{ км} + 7,5 \text{ км} + 5,8 \text{ км} = 24,0 \text{ км}; \\ L_{\text{II}} = [L]_{\text{II}} = L_2 + L_5 + L_3 = 6,3 \text{ км} + 5,8 \text{ км} + 7,7 \text{ км} = 19,8 \text{ км}; \\ L_{\text{III}} = [L]_{\text{III}} = L_4 + L_8 + L_6 = 13,3 \text{ км} + 4,4 \text{ км} + 7,5 \text{ км} = 25,2 \text{ км}; \\ L_{\text{IV}} = [L]_{\text{IV}} = L_5 + L_6 + L_7 = 4,4 \text{ км} + 9,3 \text{ км} + 7,7 \text{ км} = 21,4 \text{ км}; \\ L_{\text{V}} = [L]_{\text{V}} = L_1 + L_8 = 10,7 \text{ км} + 13,3 \text{ км} = 24,0 \text{ км}. \end{cases}$$

В рассматриваемом примере допустимые невязки будут вычисляться по формуле из таблицы 1.1, соответствующей нивелированию III класса, так как по условию задачи все обрабатываемые измерения были выполнены по методике этого класса. Результаты сравнение представим в сводной таблице 1.5.

Как видно, значения всех невязок по своей абсолютной величине не превышают допустимых значений. Следовательно, точность измерений соответствует нивелированию III класса, и можно продолжать дальнейшие вычисления.

Таблица 1.5. Ведомость сравнения вычисленных значений невязок с допустимыми

№ полигона	порядок обхода	№ ходов	невязка (мм)	длина полигона (км)	допустимая невязка (мм)
I	M2047→M2047	1,4,2	+5	24,0	49
II	Рп8→Рп8	3,2,5	−5	19,8	44
III	Рп42→Рп42	8,6,4	−1	25,2	50
IV	Рп12→Рп12	6,7,5	+11	21,4	46
V	M2047→M0831	1,8	+5	24,0	49

Вычисление уравненных значений отметок узловых точек по способу последовательных вычислений выполним, заполнив ведомость соответствующего уравнивания (приложение 3).

На вычисление уравненного значения отметки каждой узловой точки отводится столько строк в ведомости, сколько к этой узловой точке примыкает ходов в нивелирной сети, плюс ещё одна строчка для вычисления средних весовых значений, которая дополнительно отделяется от предыдущих вычислений двойной сплошной линией. (В примере под вычисление уравненных значений отметок узловых точек Рп42, Рп8 и Рп12 отведено, соответственно, 4, 4 и 5 строк, так как к Рп42 и Рп8 примыкает по 3 хода, а к Рп12 — 4.) Дабы отделить вычисления уравненных значений отметок каждой узловой точки друг от друга, между строками, выделенными под эти вычисления, также оставляют незаполненной ещё одну строку, выступающую в этом случае в роли разделителя.

Номер каждой узловой точки указывается единожды в 1-ом столбце ведомости на одной из строк, отведённых под вычисление уравненного значения отметки соответствующей узловой точки (без буквенного указания принадлежности: М, Рп и т.п.).

Во 2-ом столбце отдельно на каждой строке указывают номера ходов, примыкающих к соответствующей узловой точке. В 3-ем столбце указывают номера исходных марок и других узловых точек, с которыми эти ходы связывают данную узловую точку. В 4-ом столбце приводят значения отметок исходных марок напротив их номеров, указанных в предыдущем столбце.

В 5-ом столбце приводят результаты измерений по ходам, напротив номеров последних, указанных во 2-ом столбце. При этом, если ход "выходит" из исходной марки или узловой точки, номер которой указан в 3-ем столбце, знак этого результата меняется на противоположный, если "входит" — остается неизменным. К примеру, во 2-ой строке ведомости для вычисления уравненного значения отметки узловой точки Рп42 приведён результат измерения превышения по 4-ому ходу в нивелирной сети из таблицы 1.4, но, так как этот ход "входит" в исходную

марку М0831 (и, соответственно, выходит из Рп42), в 5-ом столбце обозначенный результат указан не со своим знаком, а с противоположным.

В 6-ом столбце приводят в километрах длины ходов, напротив номеров последних, указанных во 2-ом столбце.

Все исходные данные и результаты измерений в столбцах 4-6 приводят с тем же количеством цифр после запятой, с каким все они были представлены для обработки (даже если последние из приведённых нули).

В 7-ом столбце приводят веса измерений напротив номеров последних, указанных во 2-ом столбце. Веса измерений в нивелировании назначаются как

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{j,a} = \frac{C}{L_{j,a}}; \\ p_{j,b} = \frac{C}{L_{j,b}}; \\ \vdots \\ p_{j,k} = \frac{C}{L_{j,k}}; \\ p_{j,1} = \frac{C}{L_{j,1}}; \\ p_{j,2} = \frac{C}{L_{j,2}}; \\ \vdots \\ p_{j,k_{\text{ид}}} = \frac{C}{L_{j,k_{\text{ид}}}}. \end{array} \right. \quad (1.37)$$

Где $L_{j,a}, L_{j,b}, \dots, L_{j,k}$ — длина хода между j -ой узловой точкой и узловой точкой $a, b, \dots, k$, соответственно, в километрах;

$L_{j,1}, L_{j,2}, \dots, L_{j,k_{\text{ид}}}$ — длина хода между j -ой узловой точкой и исходной маркой 1, 2, ..., $k_{\text{ид}}$, соответственно, в километрах;

C — некоторая произвольная константа, обычно выбираемая с таким расчётом, чтобы все веса были по возможности близки к единице, по формуле

$$C = \frac{L_{\text{max.}} + L_{\text{min.}}}{2}, \quad (1.38)$$

где $L_{\text{min.}}$ — длина самого короткого хода в уравниваемой сети;

$L_{\text{max.}}$ — длина самого протяжённого хода в уравниваемой сети.

В строках, соответствующих вычислению уравнированного значения отметки каждой узловой точки, под двойной чертой в том же 7-ом столбце указывают

сумму $[p]_j$ весов всех измерений по ходам, примыкающим к этой узловой точке:

$$\begin{cases} [p]_{Рп42} = p_{Рп42,М2047} + p_{Рп42,Рп12} + p_{Рп42,М0831} = 0,93 + 1,33 + 0,75 = 3,01; \\ [p]_{Рп8} = p_{Рп8,М2047} + p_{Рп8,Рп12} + p_{Рп8,М0831} = 1,59 + 1,30 + 1,08 = 3,97; \\ [p]_{Рп12} = p_{Рп12,М2047} + p_{Рп12,Рп42} + p_{Рп12,М0831} + p_{Рп12,Рп8} = 1,72 + 1,33 + 2,27 + 1,30 = 6,62. \end{cases}$$

Далее переходим к вычислению значений отметок узловых точек, последовательно заполняя столбцы, соответствующие приближениям. Вычисляем значения отметок узловых точек простой суммой результата измерения из 5-го столбца и отметки исходной марки из 4-го столбца в соответствии с (1.25) или полученного из предыдущего либо из текущего приближения среднего весового значения отметки узловой точки, номер которой указан в 3-ем столбце в той же строке, в соответствии с (1.26). Все полученные значения отметок узловых точек в метрах записывают с четырьмя знаками после запятой в столбце, соответствующем текущему приближению (для 1-го приближения это 8-ой столбец, для 2-го — 9-ый и т.д.). Исключение составляют только значения, полученные по ходам, связывающим узловые точки с исходными марками. Такие значения в метрах записывают с тремя знаками после запятой.

В каждой строке под двойной чертой указываем среднее весовое значение отметки той узловой точки, которой соответствует эта строка. Полученные средние весовые значения в метрах везде записываем с четырьмя цифрами после запятой.

В рассматриваемом примере в 1-ом приближении не вычисляем значения отметки узловой точки Рп42 по ходам, связывающим её с узловой точкой Рп12, так как какое-либо значение отметки последней ещё не получено:

$$\begin{cases} H_{Рп42,М2047} = H_{М2047} + h_{М2047 \rightarrow Рп42} = 348,187 \text{ м} - 4,280 \text{ м} = 343,907 \text{ м}; \\ H_{Рп42,М0831} = H_{М0831} + h_{М0831 \rightarrow Рп42} = 342,328 \text{ м} + 1,574 \text{ м} = 343,902 \text{ м}. \end{cases}$$

Таким образом, оставляем пустым соответствующую ячейку в 8-ом столбце напротив указанного номера узловой точки Рп12 в 3-ем столбце. С учётом этого при вычислении среднего весового значения отметки узловой точки Рп42 по формуле (1.24) в знаменателе необходимо суммировать веса измерений не по всем ходам, а лишь по соединяющим данную узловую точку с исходными марками:

$$H_{Рп42}^{(1)} = \frac{H_{Рп42,М2047}p_{Рп42,М2047} + H_{Рп42,М0831}p_{Рп42,М0831}}{p_{Рп42,М2047} + p_{Рп42,М0831}} \approx 343,9048 \text{ м}.$$

То же самое будет справедливо и при вычислениях в 1-ом приближении значений

отметки узловой точки Рп8:

$$\begin{cases} H_{Рп8,М2047} = H_{М2047} + h_{М2047 \rightarrow Рп8} = 348,187 \text{ м} - 0,325 \text{ м} = 347,862 \text{ м}; \\ H_{Рп8,М0831} = H_{М0831} + h_{М0831 \rightarrow Рп8} = 342,328 \text{ м} + 5,539 \text{ м} = 347,867 \text{ м}. \end{cases}$$

$$H_{Рп8}^{(1)} = \frac{H_{Рп8,М2047}p_{Рп8,М2047} + H_{Рп8,М0831}p_{Рп8,М0831}}{p_{Рп8,М2047} + p_{Рп8,М0831}} \approx 347,8640 \text{ м}.$$

Значения отметки узловой точки Рп12 можно вычислить и по ходам, связывающим её с другими узловыми точками, так как их средние весовые значения ранее в этом приближении уже были вычислены:

$$\begin{cases} H_{Рп12,М2047} = H_{М2047} + h_{М2047 \rightarrow Рп12} = 348,187 \text{ м} - 12,768 \text{ м} = 335,419 \text{ м}; \\ H_{Рп12,Рп42}^{(1)} = H_{Рп42}^{(1)} + h_{Рп42 \rightarrow Рп12} = 343,9048 \text{ м} - 8,483 \text{ м} = 335,4218 \text{ м}; \\ H_{Рп12,М0831} = H_{М0831} + h_{М0831 \rightarrow Рп12} = 342,328 \text{ м} - 6,910 \text{ м} = 335,418 \text{ м}; \\ H_{Рп12,Рп8}^{(1)} = H_{Рп8}^{(1)} + h_{Рп8 \rightarrow Рп12} = 347,8640 \text{ м} - 12,438 \text{ м} = 335,4260 \text{ м}. \end{cases}$$

При вычислении среднего весового значения отметки узловой точки Рп12 по формуле (1.24) в знаменателе будут суммироваться веса измерений по всем ходам, примыкающим к этой узловой точке, без исключения:

$$\begin{aligned} H_{Рп12}^{(1)} &= \frac{H_{Рп8,М2047}p_{Рп8,М2047} + H_{Рп12,Рп42}^{(1)}p_{Рп12,Рп42} + H_{Рп8,М0831}p_{Рп8,М0831} + H_{Рп12,Рп8}^{(1)}p_{Рп12,Рп8}}{p_{Рп8,М2047} + p_{Рп12,Рп42} + p_{Рп8,М0831} + p_{Рп12,Рп8}} = \\ &= \frac{H_{Рп8,М2047}p_{Рп8,М2047} + H_{Рп12,Рп42}^{(1)}p_{Рп12,Рп42} + H_{Рп8,М0831}p_{Рп8,М0831} + H_{Рп12,Рп8}^{(1)}p_{Рп12,Рп8}}{[p]_{Рп12}} = \\ &= \frac{335,419 \text{ м} \cdot 1,72 + 335,4218 \text{ м} \cdot 1,33 + 335,418 \text{ м} \cdot 2,27 + 335,4260 \text{ м} \cdot 1,30}{6,62} \approx 335,4206 \text{ м}. \end{aligned}$$

Аналогичным образом выполняются вычисления значений отметок узловых точек во всех последующих приближениях, включая вычисления средних весовых значений.

После вычисления среднего весового значения отметки последней узловой точки во 2-ом приближении, для остановки итерационного процесса начинаем проверять выполнение неравенств типа (1.27). Таким образом, в рассматриваемом примере после вычисления среднего весового значения отметки узловой точки Рп12 во 2-ом приближении мы должны проверить соблюдение следующих трёх неравенств

$$\begin{cases} |H_{\text{Рп42}}^{(2)} - H_{\text{Рп42}}^{(1)}| \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |H_{\text{Рп8}}^{(2)} - H_{\text{Рп8}}^{(1)}| \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |H_{\text{Рп12}}^{(2)} - H_{\text{Рп12}}^{(1)}| \leq 0,3 \text{ мм}. \end{cases} \quad (1.39)$$

В результате получаем

$$\begin{cases} |343,9043 \text{ м} - 343,9048 \text{ м}| = 0,5 \text{ мм} \not\leq 0,3 \text{ мм}; \\ |347,8622 \text{ м} - 347,8640 \text{ м}| = 1,8 \text{ мм} \not\leq 0,3 \text{ мм}; \\ |335,4201 \text{ м} - 335,4206 \text{ м}| = 0,5 \text{ мм} \not\leq 0,3 \text{ мм}. \end{cases}$$

Как видно, ни одно из рассмотренных неравенств не выполняется. Соответственно, итерационный процесс не может быть завершён, и переходим к следующему приближению. В рассматриваемом примере, соответственно, выполняем 3-ье приближение, осуществляя вычисления по формулам (1.24)–(1.26) и заполняя 10-ый столбец аналогично предыдущему приближению.

После вычисления средних весовых значений отметок узловых точек Рп42 и Рп8 в 3-ем приближении проверять выполнение неравенств бессмысленно, так как в обоих случаях будет фигурировать третье неравенство из (1.39), которое гарантированно не выполняется:

$$\begin{cases} |H_{\text{Рп42}}^{(3)} - H_{\text{Рп42}}^{(2)}| \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |H_{\text{Рп8}}^{(2)} - H_{\text{Рп8}}^{(1)}| \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |H_{\text{Рп12}}^{(2)} - H_{\text{Рп12}}^{(1)}| \leq 0,3 \text{ мм}. \end{cases} \quad (1.40)$$

Вычисления в 3-ем приближении необходимо продолжить.

Точно так же третье неравенство из (1.39) будет фигурировать после вычисления среднего весового значения отметки узловой точки Рп8:

$$\begin{cases} |H_{\text{Рп42}}^{(3)} - H_{\text{Рп42}}^{(2)}| \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |H_{\text{Рп8}}^{(3)} - H_{\text{Рп8}}^{(2)}| \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |H_{\text{Рп12}}^{(2)} - H_{\text{Рп12}}^{(1)}| \leq 0,3 \text{ мм}. \end{cases} \quad (1.41)$$

Соответственно, также продолжаем далее вычисления в 3-ем приближении.

После вычисления среднего весового значения отметки узловой точки Рп12 проверяем соблюдение трёх неравенств

$$\begin{cases} |H_{\text{Рп42}}^{(3)} - H_{\text{Рп42}}^{(2)}| \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |H_{\text{Рп8}}^{(3)} - H_{\text{Рп8}}^{(2)}| \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |H_{\text{Рп12}}^{(3)} - H_{\text{Рп12}}^{(2)}| \leq 0,3 \text{ мм}. \end{cases} \quad (1.42)$$

В результате получаем

$$\begin{cases} |343,9040 \text{ м} - 343,9043 \text{ м}| = 0,3 \text{ мм} \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |347,8621 \text{ м} - 347,8622 \text{ м}| = 0,1 \text{ мм} \leq 0,3 \text{ мм}; \\ |335,4201 \text{ м} - 335,4201 \text{ м}| = 0,0 \text{ мм} \leq 0,3 \text{ мм}. \end{cases}$$

Все неравенства выполняются. Соответственно, итерационный процесс может быть завершён, переходить к 4-ому приближению не обязательно. Таким образом, все полученные в 3-ем приближении средние весовые значения отметок узловых точек можно считать окончательными и приравнять их к урвненным значениям этих отметок:

$$\begin{cases} \bar{H}_{\text{Рп42}} = H_{\text{Рп42}}^{(3)} = 343,9040 \text{ м}; \\ \bar{H}_{\text{Рп8}} = H_{\text{Рп8}}^{(3)} = 347,8621 \text{ м}; \\ \bar{H}_{\text{Рп12}} = H_{\text{Рп12}}^{(3)} = 335,4201 \text{ м}. \end{cases}$$

Далее вычисляем значения поправок в измерения согласно (1.30) и записываем их в миллиметрах в соответствующих строках в 15-ом столбце, сохраняя одну цифру после запятой.

Для контроля вычисления значений поправок рассчитываем в миллиметрах значения произведений в 16-ом столбце ведомости, сохраняя две цифры после запятой. В строках, соответствующих вычислениям средних весовых значений отметок узловых точек записываем рассчитанные значения сумм $[pv]_j$ в соответствии с (1.32) и проверяем выполнение неравенств (1.31).

В рассматриваемом примере предельная ошибка округления будет равна 0,05 мм, то есть

$$\beta = 0,05 \text{ мм},$$

так как все полученные в метрах средние весовые значения отметок узловых точек были округлены до десятитысячных. Тогда для каждой узловой точки можно записать

$$\begin{cases} \beta[p]_{\text{Рп42}} = 0,15 \text{ мм}; \\ \beta[p]_{\text{Рп8}} = 0,20 \text{ мм}; \\ \beta[p]_{\text{Рп12}} = 0,33 \text{ мм}. \end{cases}$$

Проверяя выполнение неравенств (1.31) для каждой из узловых точек, получаем

$$\begin{cases} 0,10 \text{ мм} \leq 0,15 \text{ мм}; \\ 0,06 \text{ мм} \leq 0,20 \text{ мм}; \\ 0,26 \text{ мм} \leq 0,33 \text{ мм}. \end{cases}$$

Все неравенства выполняются. Соответственно, контроль выполняется. Следовательно, значения поправок в измерения вычислены все верно.

Если вычисления выполняются на компьютере (к примеру, с использованием электронных таблиц), и получаемые значения не округляются, а лишь визуально отображаются с требуемым количеством цифр после запятой, контроль вычислений значений поправок в измерения должен осуществляться не в соответствии с (1.31), а как

$$[pv]_j \leq 0, \quad (1.43)$$

так как влияние ошибки округления в таком случае будет пренебрежимо мало, ибо при работе на компьютере она будет определяться тем, сколько знаков после запятой сохраняет используемая для вычислений программа. (В электронных таблицах “MS Excel”, к примеру, сохраняется 15 знаков после запятой, то есть в нашем случае предельная ошибка округления будет равна 5 аттометрам, или $5 \cdot 10^{-18}$ м.)

Для последующего вычисления средней квадратической ошибки единицы веса согласно (1.29) рассчитываем в миллиметрах значения произведений в 17-ом столбце ведомости, сохраняя две цифры после запятой.

В рассматриваемом примере в двух строках, соответствующих вычислению уравненного значения отметки узловой точки Рп12, значения поправок в измерения по 4-ому и 5-ому ходам в 15-ом столбце были вычислены повторно (были найдены ранее в строках, отведённых под вычисление уравненных значений отметок узловых точек Рп42 и Рп8), поэтому значения произведений в 17-м столбце для них повторно не вычисляем. Значение суммы $[pv^2]$ обычно приводится в том же столбце в строке, соответствующей вычислению средних весовых значений отметки последней узловой точки. В рассматриваемом примере

$$[pv^2] = 71,29 \text{ мм}^2.$$

Получаемые далее веса и значения средних квадратических ошибок записываем на свободных строках внизу ведомости.

СКОш единицы веса согласно (1.29) будет равна

$$\mu = \sqrt{\frac{71,29 \text{ мм}^2}{5}} \approx 3,8 \text{ мм.}$$

СКОш измерения превышения на 1 км хода согласно (1.34) будет равна

$$m_{\text{км}} = \frac{3,8 \text{ мм}}{\sqrt{10}} \approx 1,2 \text{ мм.}$$

СКОш вычисления самой СКОш единицы веса согласно (1.33) будет равна

$$m_{\mu} = \frac{3,8 \text{ мм}}{\sqrt{2 \cdot 5}} \approx 1,2 \text{ мм.}$$

Веса вычислений уравненных значений отметок узловых точек находим по формуле (1.36):

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{\bar{H}_{\text{Pп42}}} = [p]_{\text{Pп42}} - \frac{p_{\text{Pп42, Pп12}}^2}{[p]_{\text{Pп12}}} = ,01 - \frac{1,33^2}{6,62} \approx 2,74; \\ p_{\bar{H}_{\text{Pп8}}} = [p]_{\text{Pп8}} - \frac{p_{\text{Pп8, Pп12}}^2}{[p]_{\text{Pп12}}} = 3,97 - \frac{1,30^2}{6,62} \approx 3,71; \\ p_{\bar{H}_{\text{Pп12}}} = [p]_{\text{Pп12}} - \frac{p_{\text{Pп12, Pп42}}^2}{[p]_{\text{Pп42}}} - \frac{p_{\text{Pп12, Pп8}}^2}{[p]_{\text{Pп8}}} = 6,62 - \frac{1,33^2}{6,62} \approx 5,61. \end{array} \right.$$

СКОш вычисления уравненных значений отметок узловых точек согласно (1.35) будут равны

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\bar{H}_{\text{Pп42}}} = \frac{\mu}{\sqrt{p_{\bar{H}_{\text{Pп42}}}}} = \frac{3,8 \text{ мм}}{\sqrt{2,74}} \approx 2,3 \text{ мм}; \\ m_{\bar{H}_{\text{Pп8}}} = \frac{\mu}{\sqrt{p_{\bar{H}_{\text{Pп8}}}}} = \frac{3,8 \text{ мм}}{\sqrt{3,71}} \approx 2,0 \text{ мм}; \\ m_{\bar{H}_{\text{Pп12}}} = \frac{\mu}{\sqrt{p_{\bar{H}_{\text{Pп12}}}}} = \frac{3,8 \text{ мм}}{\sqrt{5,61}} \approx 1,6 \text{ мм.} \end{array} \right.$$

2. СВЕТОДАЛЬНОМЕРНАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ

2.1. Общие сведения

Исторически светодальномерная полигонометрия – вид геодезических работ, предполагающий для определения планового положения точек на земной поверхности измерения длин линий, соединяющих эти пункты, и горизонтальных углов между ними, где при линейных измерениях используется принцип определения расстояний светодальномером. На сегодняшний день такие измерения в большинстве своём выполняются электронными тахеометрами.

Тахеометр – геодезический инструмент, предназначенный для измерения как линейных расстояний, так и горизонтальных и вертикальных углов.

Электронный тахеометр — это геодезический инструмент, объединяющий в себе электронный теодолит, светодальномер и электронный регистратор данных, которые могут рассматриваться как составные части, или модули, этого инструмента.

Усовершенствование топографических светодальномеров и использование фоторегистрации изображений шкал в геодезических приборах привели к появлению и развитию электронных тахеометров. Развитие микроэлектроники и применение в светодальномерах полупроводникового диода на арсениде галлия в качестве излучателя и модулятора уже в начале 1970-х годов позволили создать транспортабельные электронно-оптические тахеометры со встроенной мини-ЭВМ.

Сегодня электронные тахеометры широко используются при изысканиях, в топографии, в инженерной геодезии, при проведении геодезических работ для кадастра.

Расстояния в электронных тахеометрах измеряются при помощи светодальномера. Угловые отсчёты выдают датчики горизонтального и вертикального кругов электронного теодолита. Отсчёты расстояния и углов передаются на индикацию и регистрацию. Обработка результатов измерений происходит сразу, её выполняет микро-ЭВМ, обеспечивающая возможность решения целого ряда стандартных геодезических задач. Полученная в результате измерений и вычислений информация высвечивается на цифровом табло (ЖК-дисплее), а также регистрируется во внутренней памяти прибора и/или на флэш-картах для последующего ввода (выгрузки) в компьютер для дальнейшей обработки.

Электронный тахеометр имеет одну или две панели управления (вторая располагается с другой стороны прибора и либо полностью дублирует основную панель, либо содержит только функциональные клавиши). На панели управления расположены дисплей и клавиатура для управления процессом измерений и ввода информации вручную. Для некоторых моделей электронных тахеометров ввод информации и управление возможны и с дистанционного пульта управления (контроллера). Большинство электронных тахеометров оснащены световыми

указателями створа (лазерными целеуказателями), облегчающий установку вехи с отражателем на линию, по которой направлена зрительная труба прибора.



Рисунок 2.1. Схема внешнего устройства электронного тахеометра



Рисунок 2.2. Электронный тахеометр в разрезах

Устройство дальномера в электронных тахеометрах обычно расположено в верхней части зрительной трубы. Основная схема дальномера у всех моделей приборов примерно одинаковая.

Схема и разрезы электронного тахеометра представлены на рисунках 2.1 и 2.2 на примере электронного тахеометра SOKKIA серии CX.

Отражатели для электронных тахеометров разделяют на призмённые и плёночные. При этом в большинстве моделей электронных тахеометров предусмотрен безотражательный режим измерения расстояний.

Основным элементом призмённого отражателя является стеклянная трипель-призма (рис. 2.3, а) отражающая световой луч в том направлении, откуда он пришёл. Для увеличения дальности измерений применяют многопризмённые отражатели (рис. 2.3, б). Для повышения точности измерений используют отражатели 360° (рис. 2.3, в).

Плёночный отражатель — это светоотражающая пластиковая плёнка (катафот) с нанесёнными на неё вертикальными и горизонтальными штрихами, иногда ещё кругами и стрелками (рис. 2.4, а–в). Он имеет квадратную форму от 1×1 см и больше. Дальность измерений на катафот меньше, чем на призму. Но его огромное достоинство в том, что плёнку можно закрепить там, где установить призмённый отражатель невозможно: например, приклеить в нужном месте на сооружение.

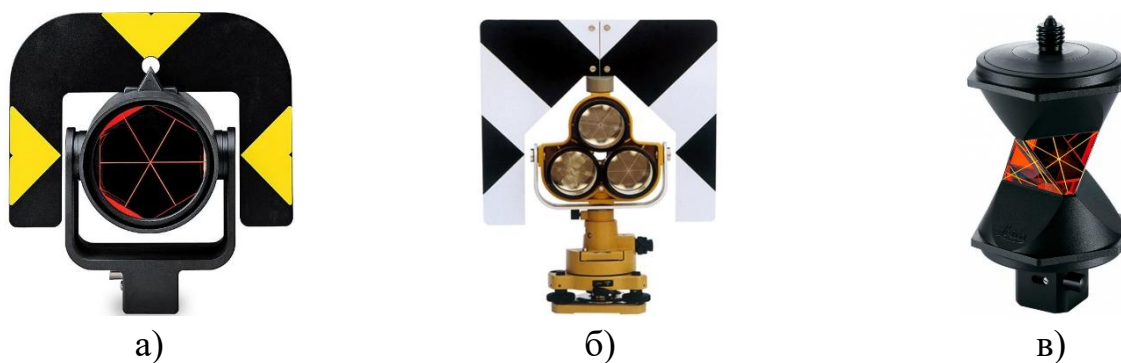


Рисунок 2.3. Призмённые отражатели

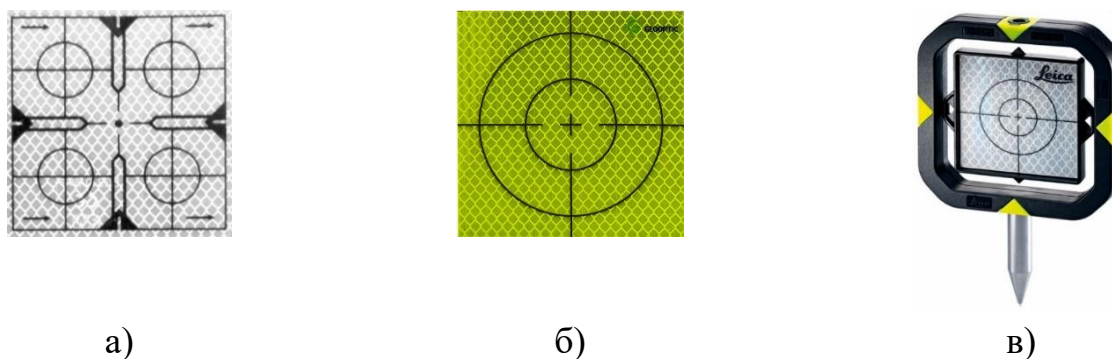


Рисунок 2.4. Плёночные отражатели

Для многих призм их вершина с учётом коэффициента преломления в стекле оказывается смещена по отношению к центру вехи, на которой она установлена. Ввиду этого возникает необходимость корректировать результат измерения расстояния путём ввода поправки за отражатель. Эта поправка различна для разных типов отражателей, а также варьируется в зависимости от фирмы-изготовителя электронного тахеометра, которым выполнялись измерения. Последнее связано с тем, что у каждого производителя поправка за "родной" отражатель внесена непосредственно в алгоритм измерения электронного тахеометра.

2.2. Определение длин линий, измеренных светодаљномером

В любом электронном тахеометре точность линейных измерений зависит в первую очередь от типа отражателя и режима работы EDM¹.

Режимы работы обычно отличаются (или называются по-разному) в тахеометрах разных марок и/или моделей.

Для примера приведём точностные параметры измерений на разные типы отражателей при выборе разных режимов для электронного тахеометра LEICA TS03 (таблицы 2.1, 2.2).

Таблица 2.1. Измерение расстояний на отражатели и отражающие полосы (светоотражающие марки)

Режим работы EDM	Среднее квадратическое отклонение (ISO 17123-4)		Обычное время измерений
	стандартная призма	отражающая полоска	
Точно+	1 мм + 1,5 ppm	3 мм + 2 ppm	2,4 с.
Точно&Быстро	1,5 мм + 2 ppm	3 мм + 2 ppm	2,0 с.
Трекинг	3 мм + 1,5 ppm	3 мм + 2 ppm	< 0,15 с.
Среднее	1 мм + 1,5 ppm	1 мм + 1,5 ppm	—

Таблица 2.2. Измерения расстояний в безотражательном режиме

Стандартные измерения	Среднее квадратическое отклонение (ISO 17123-4)	Обычное время измерений	Максимальное время измерений
≤ 500 м	2 мм + 2 ppm	3–6 с.	15 с.
> 500 м	4 мм + 2 ppm	3–6 с.	15 с.

¹ EDM — от англ. electronic distance measurement, электронное измерение расстояния.

Тип отражателя и режим работы EDM выбираются и сохраняются в настройках прибора строго перед началом измерений.

Точность линейных измерений электронным тахеометром влияет на выбор инструмента для определённого вида работ. Например: полигонометрия 4 класса/тригонометрическое нивелирование/высокоточные разбивочные работы). При составлении проекта производства геодезических работ точность линейных и угловых измерений прибором необходимы, в первую очередь, для предрасчёта ожидаемой точности измерений.

Препятствия на пути распространения луча, сильные колебания воздуха и движущиеся объекты могут ухудшить указанные выше параметры точности.

Всего в настройках EDM данной модели предусмотрено 6 режимов измерений:

1) **Точно+** — режим точных измерений позволяет производить наиболее точные измерения с использованием отражателей (1 мм + 1,5 ppm);

2) **Точно&Быстро** — режим быстрых измерений с использованием отражателей повышает скорость и точность измерений (2 мм + 1,5 ppm);

3) **Точно** — для измерений расстояний без использования отражателей (≤ 500 м: 2 мм + 2 ppm; > 500 м: 4 мм + 2 ppm);

4) **Среднее** — повтор измерений в стандартном режиме измерения: задаётся количество повторений, вычисляется усредненное расстояние и СКОш этого вычисления;

5) **Трекинг** — для непрерывного измерения на отражатель (3 мм + 1,5 ppm) или безотражательного измерения (5 мм + 3 ppm);

6) **Призма** (> 4 км) — для измерений больших расстояний с использованием отражателей (5 мм + 2 ppm).

Рассмотрим состав уравнений точности:

$$1 \text{ мм} + 1,5 \text{ ppm}.$$

Здесь и далее ppm – аббревиатура от словосочетания «parts per million» (англ., частей на миллион), т.е. миллионная часть. При определении точности линейных измерений электронным тахеометром принимаем единицу измерения 1 км. Таким образом, уравнению можно придать вид

$$1 \text{ мм} + 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot D,$$

где D — длина измеряемого расстояния в км.

Некоторые производители указывают эту характеристику в следующем виде:

$$(1 + 1,5 \text{ мм/км}) \text{ мм.}$$

Тип отражателя и режим работы EDM выбираются и сохраняются в настройках прибора строго перед началом измерений.

Точность линейных измерений электронным тахеометром влияет на выбор инструмента для определённого вида работ. Например: полигонометрия 4 класса/тригонометрическое нивелирование/высокоточные разбивочные работы). При составлении проекта производства геодезических работ точность линейных и угловых измерений прибором необходимы, в первую очередь, для предрасчёта ожидаемой точности измерений.

Также *на этапе полевых или камеральных работ* необходимо вводить те или иные поправки в результаты измерений расстояний. Помимо поправки за отражатель, о которой говорилось в п. 2.1 можно выделить ещё ряд поправок, оказывающих наибольшее влияние на измерение расстояний:

- 1) атмосферная поправка (ΔD_1),
- 2) поправка за наклон линии (ΔD_2),
- 3) поправка за переход на средний уровень моря (ΔD_3),
- 4) поправка за переход на плоскость проекции (ΔD_4).

Все обозначенные поправки удобно представлять в виде редукций, осуществляющих приведение результатов измерений из одной системы отсчёта в другую. Тогда каждая поправка, по сути, будет представлять собой коэффициент, на который необходимо умножить результат измерения безотносительно других поправок.

С учётом этого исправленный результат измерения расстояния можно представить в виде

$$S_{\text{испр.}} = D \cdot \Delta D_1 \cdot \Delta D_2 \cdot \Delta D_3 \cdot \Delta D_4. \quad (2.1)$$

Атмосферная поправка иллюстрирует влияние условий внешней среды на результат линейных измерений. В состав атмосферной поправки входят:

- 1) поправки за температуру воздуха,
- 2) поправки за атмосферное давление,
- 3) поправки за относительную влажность.

Обычно температура с точностью до 1°C и давление с точностью не хуже 1 мм рт.ст. указываются в настройках тахеометра; реже – влажность воздуха. Относительную влажность важно учитывать при производстве измерений в условиях очень жаркого и влажного климата. Если в процессе полевых работ эти данные не были корректно указаны, они могут быть изменены в процессе камеральных работ.

Например: при обработке результатов измерений в программе КРЕДО_ДАТ.

В большинстве современных электронных тахеометров используется лазерный луч видимого диапазона. Формула вычисления атмосферной поправки для дальномера на базе красного лазера видимого диапазона:

$$\Delta D_1 = 286,269 - \frac{0,29528 \cdot p - 4,126 \cdot 10^{k-4} \cdot \varphi}{1 + \alpha \cdot t}. \quad (2.2)$$

Где ΔD_1 — атмосферная поправка (ppm)²;

p — атмосферное давление (мбар);

t — температура воздуха (°C);

φ — относительная влажность (%);

α — полярное сжатие, определяемое для Земли как

$$\alpha = \frac{1}{273,15};$$

k — показатель степени, вычисляемый как

$$k = \frac{7,5 \cdot t}{237,3 + t} + 0,7857. \quad (2.3)$$

Поправка за наклон линии осуществляет, по сути, переход от наклонного расстояния к горизонтальному проложению и в виде редукции может быть представлена просто как

$$\Delta D_2 = \cos \nu. \quad (2.4)$$

Где ΔD_2 — редукция за приведение к горизонту,

ν — угол наклона, или вертикальный угол.

Такая поправка в современных электронных тахеометрах учитывается автоматически, однако на дисплей могут выводиться оба значения: и горизонтального проложения, и наклонного расстояния — что может вводить в заблуждение. При этом горизонтальное проложение логично определяется по известной формуле

$$S = \Delta D_2 = D \cos \nu = D \cdot \Delta D_2. \quad (2.5)$$

² Полученная величина будет выражаться в мм/км.

При этом атмосферная поправка в зависимости от настроек может быть как учтена, так и не учтена в результате измерения наклонного расстояния.

Поправка за приведение на средний уровень моря всегда учитывается со знаком «—» и рассчитывается по формуле

$$\Delta D_3 = -\frac{H}{R} \cdot 10^3. \quad (2.6)$$

Где ΔD_3 — редукция на средний уровень моря (ppm),

H — средняя высота участка работ над уровнем моря (м),

R — средний радиус Земли, равный 6371 км.

Так, для линии длиной 360 м, измеренной на высоте порядка 100 м над уровнем моря, поправка за приведение на средний уровень моря будет равна 5,8 мм (16 мм на км расстояния).

Величина поправки за приведение на плоскость проекции будет зависеть от типа проекции, используемой в регионе работ (стране). Для проекции Гаусса-Крюгера вычисляется как

$$\Delta D_4 = \frac{Y^2}{2R^2} \cdot 10^6. \quad (2.7)$$

Где ΔD_4 — редукция на плоскость проекции (ppm),

Y — расстояние от осевого меридиана зоны (км),

R — средний радиус Земли, равный 6371 км.

Поправки за переход на средний уровень моря и плоскость проекции обычно учитываются уже на стадии камеральных работ ввиду того, что в отдельных случаях их ввод оказывается совершенно не нужным: например, если измерения обрабатываются в локальной системе координат участка работ.

Пример определения длины линии, измеренной электронным тахеометром SOKKIA CX-105 в безотражательном режиме, с введением всех обозначенных выше поправок представлен в Приложении 4.

2.3. Установление рабочих координат пунктов полигонометрического хода

Полигонометрический ход — это построение на местности в виде замкнутого или разомкнутого многоугольника, вершины которого закрепляются на земной поверхности знаками, определённого типа [6]. Вершины многоугольника называются пунктами. В этом построении измеряются горизонтальные углы на пунктах хода и длины горизонтальных проложений сторон хода. Вычисляются прямоугольные координаты определяемых пунктов хода. В основе вычислений лежит

решение прямой геодезической задачи. В качестве исходных данных выступают прямоугольные координаты одного пункта, дирекционный угол направления на определяемый пункт и длина горизонтального проложения. По этой причине полигонометрический ход начинается и заканчивается на пунктах, прямоугольные координаты которого известны, что позволяет выполнять контроль качества измерений. Критерием качества является относительная линейная невязка в периметре хода. Природа невязки заключается в погрешностях измерений. Поэтому относительная невязка не должна превышать предельной относительной ошибки хода [6]. По этому критерию точности, а также по точности измерения горизонтальных углов различают полигонометрию 4 класса, 1 и 2 разрядов. Средства измерений, используемые при проложении полигонометрических ходов, должны удовлетворять этим требованиям. Измерения, при которых задействованы исходные пункты, обеспечивают передачу координат на определяемые пункты и называются привязкой хода. Различают следующие виды привязки:

- непосредственное примыкание - измерение примычных углов на исходных пунктах для передачи дирекционных углов исходных направлений;
- координатная, или безугловая, привязка — измерение только длин горизонтальных проложений до исходных пунктов;
- привязка к близлежащим пунктам — измерения до исходных пунктов, недоступных для установки приборов;
- привязка к отдалённым пунктам — производство различных видов засечек.

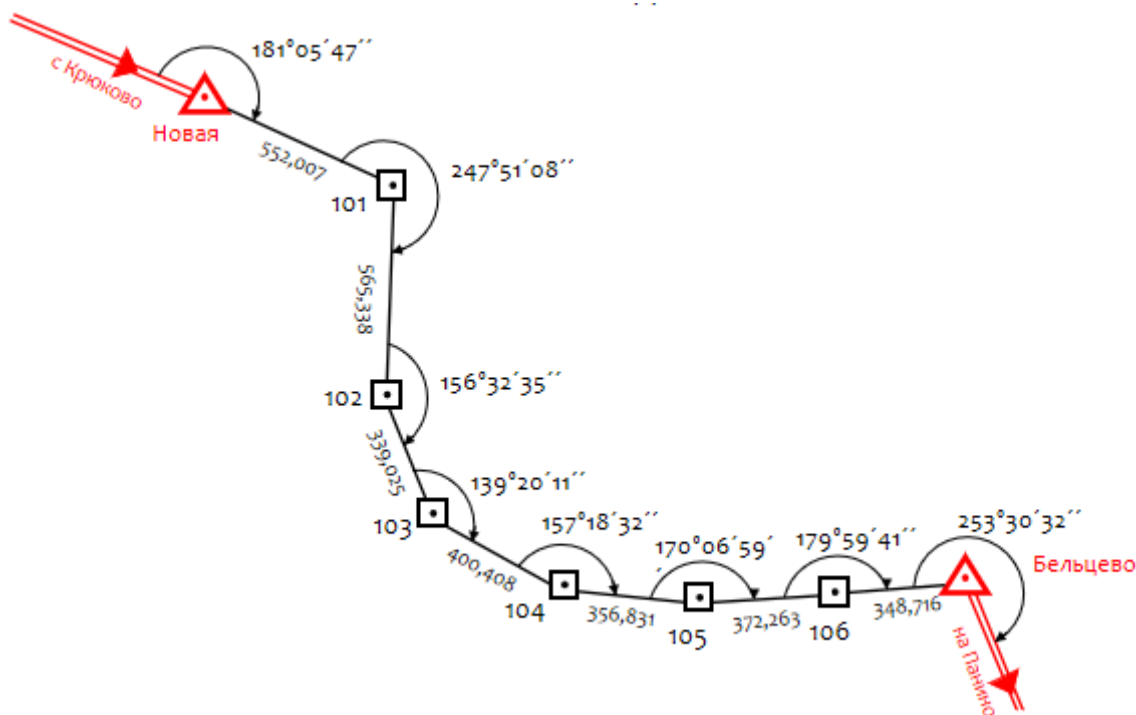


Рисунок 2.5. Схема полигонометрического хода с угловой привязкой

2.3.1. Вычисления для полигонометрического хода с угловой привязкой

Непосредственное примыкание является самым простым способом привязки. С этим видом привязки студенты знакомятся на первом курсе при вычислении координат пунктов тахеометрического хода и составлении соответствующей ведомости.

Пример схемы хода с данным видом привязки показан на рисунке 2.5.

Вычисления начинаются с выписки из каталога координат исходных пунктов и определения дирекционных углов исходных направлений. Пример представлен на рисунке 2.6. Далее исходные данные и результаты полевых измерений переносятся в ведомость, пример этого действия приведён в таблице 2.3.

Прямоугольные координаты исходного начального пункта «НОВАЯ»

X = 10901,025 м

Y = 7050,400 м

Прямоугольные координаты исходного конечного пункта «БЕЛЬЦЕВО»

X = 9619,164 м

Y = 9076,842 м

Дирекционные углы исходных направлений

- начального – «КРЮКОВО - НОВАЯ» 113° 28' 37"

- конечного – «БЕЛЬЦЕВО – ПАНИНО» 159° 14' 10"

Рисунок 2.6. Выписка из Каталога исходных пунктов

Таблица 2.3. Ведомость вычисления рабочих координат пунктов хода

№№ пунктов	Углы поворота β ° ' "	Дирекционные углы α ° ' "	cos α sin α	Длина линии S, м	Приращения координат, м		Координаты, м	
					Δx	Δy	X	Y
1	2	3		4	5	6	7	8
Крюково		113 28 37						
Новая	181 05 47			552,007			10901,025	7050,400
101	247 51 08			565,338				
102	156 32 35			339,025				
103	139 20 11			400,408				
104	157 18 32			356,831				
105	170 06 59			372,263				
106	179 59 41			348,716				
Бельцево	253 30 32	159 14 10					9619,164	9076,842
Панино								

Затем выполняются вычисления линейных величин до 0,001 м и угловых величин с округлением до целых секунд. Порядок действий при этом следующий:

1) вычисляем угловую невязку, сравниванием ее с допустимым значением, выполняя контроль качества угловых измерений:

$$f_{\beta} = \Sigma \beta_{\text{пр.}} - \Sigma \beta_{\text{теор.}} \quad (2.8)$$

при

$$\Sigma \beta_{\text{пр.}} = [\beta], \quad (2.9)$$

где $[\beta]$ — сумма средних значений горизонтальных углов, и

$$\Sigma \beta_{\text{теор.}} = \alpha_{\text{кон.}} - \alpha_{\text{нач.}} + 180^{\circ} n_{\beta}, \quad (2.10)$$

где $\alpha_{\text{нач.}}$ — дирекционный угол начального исходного направления,

$\alpha_{\text{кон.}}$ — дирекционный угол конечного исходного направления,

n_{β} — число измеренных горизонтальных углов;

2) сравниванием полученное значение угловой невязки с допустимым, выполняя контроль качества угловых измерений:

$$\text{доп. } f_{\beta} = 2m_{\beta} \sqrt{n_{\beta}}, \quad (2.11)$$

где m_{β} — СКОш угловых измерений.

$$|f_{\beta}| \leq \text{доп. } f_{\beta}; \quad (2.12)$$

3) вычисляем поправки в угловые измерения:

$$v_{\beta_i} = -\frac{f_{\beta}}{n_{\beta}}; \quad (2.13)$$

4) вычисляем исправленные горизонтальные углы:

$$\beta_{\text{испр.,}i} = \beta_i + v_{\beta_i}; \quad (2.14)$$

5) вычисляем дирекционные углы сторон хода:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_{\text{испр.}i} - 180^\circ; \quad (2.15)$$

6) вычисляем приращения координат:

$$\Delta x_i = S_i \cdot \cos \alpha_i, \quad (2.16)$$

$$\Delta y_i = S_i \cdot \sin \alpha_i; \quad (2.17)$$

7) вычисляем невязки в приращениях координат:

$$f_{\Delta x} = \Sigma \Delta x_{\text{пр.}} - \Sigma \Delta x_{\text{теор.}} \quad (2.18)$$

при

$$\Sigma \Delta x_{\text{пр.}} = [\Delta x], \quad (2.19)$$

$$\Sigma \Delta x_{\text{теор.}} = X_{\text{кон.}} - X_{\text{нач.}}, \quad (2.20)$$

где $[\Delta x]$ — сумма приращений координат Δx ,

$X_{\text{нач.}}$ — координата X начального исходного пункта,

$X_{\text{кон.}}$ — координата Y конечного исходного пункта,

$$f_{\Delta y} = \Sigma \Delta y_{\text{пр.}} - \Sigma \Delta y_{\text{теор.}} \quad (2.21)$$

при

$$\Sigma \Delta y_{\text{пр.}} = [\Delta y], \quad (2.22)$$

$$\Sigma \Delta y_{\text{теор.}} = Y_{\text{кон.}} - Y_{\text{нач.}}, \quad (2.23)$$

где $[\Delta y]$ — сумма приращений координат Δy ,

$Y_{\text{нач.}}$ — координата X начального исходного пункта,

$Y_{\text{кон.}}$ — координата Y конечного исходного пункта;

8) вычисляем линейную невязку:

$$f_s = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2}; \quad (2.24)$$

9) вычисляем относительную линейную невязку:

$$\frac{1}{T} = \frac{f_s}{[S]}; \quad (2.25)$$

10) сравнением полученное значение относительной линейной невязки с допустимым, выполняя контроль качества линейных измерений:

$$\frac{1}{T} \geq \frac{\text{пред. } f_s}{[S]}; \quad (2.26)$$

11) вычисляем поправки в приращения координат:

$$v_{\Delta x_i} = -\frac{f_{\Delta x}}{[S]} S_i, \quad (2.27)$$

$$v_{\Delta y_i} = -\frac{f_{\Delta y}}{[S]} S_i; \quad (2.28)$$

12) вычисляем исправленные приращения координат:

$$\Delta x_{\text{испр.},i} = \Delta x_i + v_{\Delta x_i}, \quad (2.29)$$

$$\Delta y_{\text{испр.},i} = \Delta y_i + v_{\Delta y_i}; \quad (2.30)$$

13) вычисляем рабочие координаты пунктов полигонометрического хода по исправленным приращениям координат:

$$X_i = X_{i-1} + \Delta x_{\text{испр.},i}, \quad (2.31)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + \Delta y_{\text{испр.},i}. \quad (2.32)$$

2.3.2. Вычисления для полигонометрического хода без угловой привязки

В ряде случаев ход не удастся привязать к исходным направлениям [4]. Имеются исходные пункты, но отсутствуют пункты ориентирования. Предположим, что через центр круга радиусом R на рисунке 2.7 проходит система координат XY. Радиус R1 в системе координат XY проведен под углом α и имеет приращения координат dx_1 и dy_1 . Радиус R1' в той же системе координат XY проведен под углом α' и имеет приращения координат dx'_1 и dy'_1 .

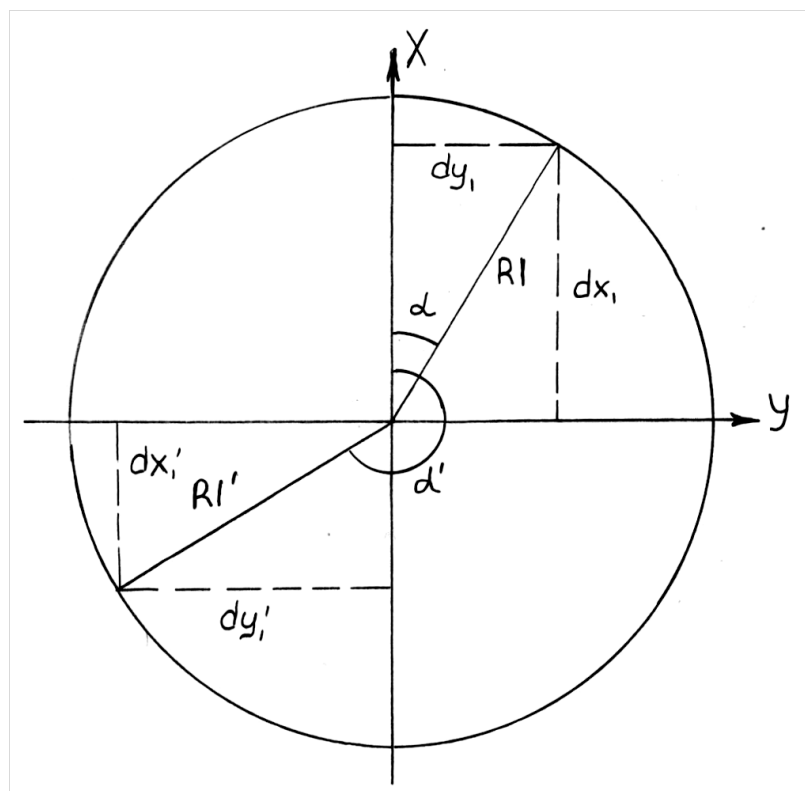


Рисунок 2.7. К координатной привязке ходов и сетей к пунктам ГГС

Несмотря на то, что сами приращения координат изменяются с изменением α , радиус данной окружности остается постоянным:

$$R1 = R1'. \quad (2.33)$$

Используя теорему Пифагора, можно записать

$$R1 = \sqrt{dx_1^2 + dy_1^2}, \quad (2.34)$$

$$R1' = \sqrt{(dx'_1)^2 + (dy'_1)^2}. \quad (2.35)$$

Для вычисления приращений координат радиусов $R1$ и $R1'$ используем прямую геодезическую задачу:

$$dx_1 = R1 \cos \alpha, \quad (2.36)$$

$$dy_1 = R1 \sin \alpha, \quad (2.37)$$

$$dx'_1 = R1' \cos \alpha', \quad (2.38)$$

$$dy'_1 = R1' \sin \alpha'. \quad (2.39)$$

Для того, чтобы через радиус $R1'$ вычислить приращения координат радиуса $R1$, $R1'$ необходимо повернуть на угол

$$d\alpha = \alpha - \alpha', \quad (2.40)$$

и тогда приращения координат будут одни и те же:

$$dx_1 = R1' \cos(\alpha' + d\alpha), \quad (2.41)$$

$$dy_1 = R1' \sin(\alpha' + d\alpha). \quad (2.42)$$

Алгоритм решения задачи в этом случае представлен ниже.

Предположим, что между двумя исходными пунктами $T1$ и $T2$ проложили ход с координатной привязкой (рисунок 2.8). Необходимо вычислить координаты определяемых точек в системе координат исходных пунктов.

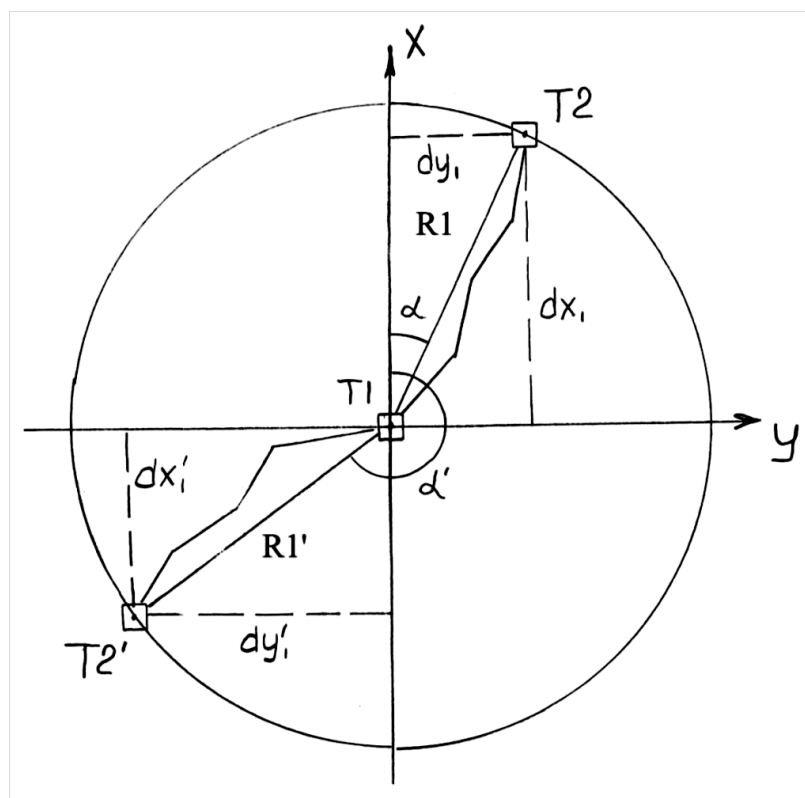


Рисунок 2.8. Полигонометрического хода с координатной привязкой

Исходя из изложенного, предположим, что пункт $T1$ — начало вектора $R1$, а пункт $T2$ — его конец.

Задача решается в два приближения [4]. Пример решения представлен в Приложении 5.

Первое приближение.

1) Определение длины и дирекционного угла истинной замыкающей хода:

а) найдём приращения истинных координат и длину замыкающей линии хода R1 между исходными пунктами T1 и T2:

$$\Delta x_{\text{ист.}} = X_{T2} - X_{T1}, \quad (2.43)$$

$$\Delta y_{\text{ист.}} = Y_{T2} - Y_{T1}, \quad (2.44)$$

$$R1_{\text{ист.}} = \sqrt{\Delta x_{\text{ист.}}^2 + \Delta y_{\text{ист.}}^2}; \quad (2.45)$$

б) определим румб истинной замыкающей R1:

$$\text{tg } r = \frac{\Delta y_{\text{ист.}}}{\Delta x_{\text{ист.}}} \quad (2.46)$$

в) по известным правилам от румба линии осуществим переход к дирекционному углу α .

2) Определение приращений координат, длины и дирекционного угла замыкающей хода с произвольно заданным дирекционным углом первой измеренной линии:

а) зададим первой линии хода произвольный дирекционный угол α' и определим по известным зависимостям последующие дирекционные углы линий хода:

$$\alpha'_{i+1} = \alpha'_i + \beta_i \pm 180^\circ, \quad (2.47)$$

при этом, как правило, дирекционному углу первой линии задают значение

$$\alpha'_1 = 0;$$

б) по измеренным линиям и вычисленным дирекционным углам найдём приращения координат определяемых пунктов хода:

$$\Delta x'_i = S_i \cos \alpha'_i, \quad (2.48)$$

$$\Delta y'_i = S_i \sin \alpha'_i; \quad (2.49)$$

в) просуммируем приращения координат и определим длину замыкающей проложенного хода R1':

$$R1' = \sqrt{[\Delta x']^2 + [\Delta y']^2}, \quad (2.50)$$

где $[\Delta x']$ — сумма приращений координат $\Delta x'$,

$[\Delta y']$ — сумма приращений координат $\Delta y'$;

по определению длина радиус-вектора не зависит от угла его поворота и можно записать

$$R1_{\text{ист.}} = R1', \quad (2.51)$$

однако ввиду неизбежных ошибок измерений данное соотношение не будет, а будет верно равенство

$$R1_{\text{ист.}} - R1' = dr, \quad (2.52)$$

где dr — линейная невязка f_s в периметре хода, которая обусловлена совокупностью ошибок линейных и угловых измерений;

г) оценим качество измерений путём проверки соотношения:

$$\frac{dr}{R1_{\text{ист.}}} \leq \frac{\text{пред. } f_s}{[S]} \quad (2.53)$$

где предельное значение относительной линейной невязки определяется согласно Инструкции [6] (к примеру, для полигонометрии 4 класса равно $1/25000$);

если соотношение не выполняется, присутствуют грубые ошибки измерений, которые необходимо исключить, выполнив повторные измерения, но прежде проверить вычисления;

д) определим румб r' вычисленной замыкающей хода $R1'$:

$$\text{tg } r' = \frac{[\Delta y']}{[\Delta x']}; \quad (2.54)$$

е) по известным правилам от румба линии осуществим переход к дирекционному углу α' ;

ж) определим угол доворота $d\alpha$ вычисленной замыкающей хода $R1'$:

$$d\alpha = \alpha - \alpha'. \quad (2.55)$$

Второе приближение.

1) Разворачивание $R1'$ с заданным углом α' в направлении $R1$ с заданным истинным углом $R1_{\text{ист.}}$ путём ввода поправки $d\alpha$ в дирекционные углы α' :

$$\alpha_i = \alpha'_i + d\alpha. \quad (2.56)$$

При этом, если дирекционный угол α'_1 первой линии был принят равным нулю, то

$$\alpha_1 = d\alpha.$$

2) Использование далее стандартный алгоритм вычисления рабочих координат (п. 2.3.1) за единственным отличием, что не вычисляем угловую невязку, которая скомпенсировалась доворотом хода, и вычисленное значение длины замыкающей совпадает с её истинным значением [4].

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №3

Вариант контрольной работы устанавливается согласно учебному шифру студента. Исходные данные по каждому из заданий контрольной работы выбираются или формируются каждым студентом самостоятельно на основе цифр этого учебного шифра: i_1 — первой, i_2 — второй, i_3 — третьей, i_4 — четвёртой и i_5 — пятой. Например, для шифра 32Г–18:

$$\begin{cases} i_1 = 3; \\ i_2 = 2; \\ i_3 = 0; \\ i_4 = 1; \\ i_5 = 8. \end{cases}$$

Задание №1

Выполнить вычисления на двух страницах журнала нивелирования IV класса, включая постраничные контроли и посекционный контроль.

В Приложении 7 указаны отсчёты по рейкам на станциях нивелирования, образующих одну секцию хода. Требуется внести эти отсчёты в журнал нивелирования IV класса в соответствии с порядком наблюдения на станции и выполнить для каждой станции все вычисления по образцу, приведённому в Инструкции [3], а также в Приложении 1. Разность высот нулей черной и красной сторон рейки №1 (пятка рейки) равна 4800 мм, рейки №2 — 4700 мм. Номинальная разность высот нулей пары реек (разность пяток) равна 100 мм. Коэффициент дальномера равен 100.

Измерения разделить на две страницы журнала: первые четыре станции представить на первой странице, последующие три — на второй. Для каждой страницы выполнить постраничные вычисления. После постраничных вычислений на второй странице выполнить также посекционный контроль. Индивидуальные данные определяются по последней цифре i_5 шифра. Каждый студент выбирает станции, которые должны быть приняты в обработку (столбец 1 таблицы с результатами измерений). Для получения индивидуальных данных на каждой станции студенту необходимо сложить все цифры шифра в число и это число в миллиметрах прибавить к отсчётам по задней рейке. Например, для шифра 32Г–18 последовательность станции, которые надо принимать в обработку — 5, 4, 1, 0, 7, 2, 9. Сумма цифр шифра равна 14, это число надо ввести в отсчёты по задней рейке на вышеозначенных станциях. В соответствии с этим отсчёты по задней рейке, к примеру, на станции 5, будут равны:

$$\begin{cases} 0374 + 19 = 0388; \\ 0331 + 19 = 0345; \\ 5132 + 19 = 5146. \end{cases}$$

Задание №2

Выполнить уравнивание одиночного нивелирного хода с четырьмя определяемыми пунктами (реперами): оценить качество нивелирования, вычислить наиболее надёжные значения отметок определяемых пунктов, оценить точность измерений и вычисления.

Нивелирный ход опирается на исходные пункты, марки нивелирования II класса. Индивидуальные варианты берутся из Приложения 8. Результаты измерений формируются, исходя из цифр $i_1, i_2, \dots, i_5$ учебного шифра.

При решении задания ориентироваться на пример выполнения, представленный в Приложении 2. Число штативов N_i по секциям в рамках выполнения данного задания необходимо, исходя из нормальной длины визирного луча, рассчитать по формуле

$$N_i = \frac{L_i}{2 \cdot 75 \text{ м}}$$

и округлить до целых в большую сторону.

Все полученные значения обязательно приводить с требуемым количеством цифр после запятой, указанным в примере.

Задание №3

Выполнить уравнивание нивелирной сети с тремя узловыми точками способом последовательных приближений: оценить качество нивелирования, вычислить наиболее надёжные значения отметок узловых точек, оценить точность измерений и вычислений. Измерения считать выполненными по методике нивелирования III класса.

Индивидуальные варианты берутся из Приложения 9. Схема уравниваемой сети определяется по последней цифре i_5 учебного шифра. Исходные данные и результаты измерений формируются на основе данных из соответствующей таблицы этого Приложения, исходя из выбранной схемы уравниваемой сети и цифр $i_1, i_2, \dots, i_5$ учебного шифра.

При решении задания ориентироваться на пример выполнения (п. 1.3.2.5 и Приложение 3). Полученные значения обязательно приводить с требуемым количеством цифр после запятой, указанным в примере.

Задание №4

Измерения одного и того же расстояния производились трижды в течение одного дня: утром днём и вечером. При этом автоматически учитывались атмо-

сферные данные окружающей среды.

Индивидуальные варианты берутся из Приложения 10. Результаты измерений формируются, исходя из цифр $i_1, i_2, \dots, i_5$ учебного шифра. Алгоритм вычислений представлен в п. 2.2.

Укажите значение поправки за отражатель, если измерения выполнялись электронным тахеометром LEICA TS03. Тип отражателя, на который выполнялись измерения, выбрать в соответствии с последней цифрой своего шифра по сводной таблице поправок за отражатель, представленной в Приложении 10.

Вычислите по результатам измерений наклонного расстояния значения горизонтального проложения для каждого из трёх моментов времени.

Вычислите значение атмосферной поправки, которая вводилась в измерения.

Вычислите длину измеренного расстояния с учётом поправок за переход на средний уровень моря и плоскость проекции.

При вычислениях ориентируйтесь на пример, приведённый в Приложении 4.

Проанализируйте результаты вычисления поправок и сделайте вывод, какая поправка оказывает наибольшее влияние на результат и насколько сильно в течение дня изменялась атмосферная поправка.

Задание №5

Вычислить рабочие координаты пунктов полигонометрического хода с координатной привязкой.

Индивидуальные варианты берутся из Приложения 11. Результаты измерений формируются, исходя из цифр $i_1, i_2, \dots, i_5$ учебного шифра.

При вычислениях ориентируйтесь на п. 2.3.2 и пример, представленный в Приложении 5.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №3

Титул контрольной работы должен быть оформлен в соответствии с макетом, представленным в Приложении 6.

Контрольная работа должна быть представлена в печатном или в электронном виде, или выполнена «от руки» на листах формата А4 (210 x 297 мм) на одной стороне листа белой бумаги. Для размещения в системе дистанционного обучения работа представляется единым файлом в формате PDF.

Каждая страница должна иметь одинаковые поля: размер левого поля — 30 мм, правого — 15 мм, верхнего и нижнего — по 20 мм, рамкой они не очерчиваются. Бумага должна быть белой и плотной.

Набор текста должен удовлетворять следующим требованиям: шрифт Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал — 1,5. Текст должен быть отформатирован по ширине страницы с применением автоматического переноса слов, первая строка с абзацным отступом 1,25 мм.

Математические формулы набираются в редакторе формул. Таблицы, рисунки, фотографии, чертежи, схемы и графики, как в тексте работы, так и в приложении должны быть четко оформлены, пронумерованы и иметь название.

Все страницы текста, включая его иллюстрации и приложения, должны иметь сквозную нумерацию. Титульный лист входит в общую нумерацию страниц, но номер на нем не проставляется. Номера страниц проставляются арабскими цифрами в правом нижнем углу или посередине страницы. Номер приложения размещают в правом верхнем углу над заголовком приложения после слова «Приложение». На все приложения в основной части работы должны быть ссылки.

При использовании в работе опубликованных или неопубликованных (рукописей) источников обязательна ссылка на авторов. Нарушение этой этической и правовой формы является плагиатом. Оформление ссылки должно соответствовать требованиям Национального стандарта РФ ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Система стандартов по информатизации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

основная литература:

1. Селиханович, В. Г. Геодезия. Часть 2: учебник для вузов / В. Г. Селиханович. — М.: Недра, 1981. — 544 с. — Текст: электронный // Геологическая библиотека GEOKNIGA: [сайт]. — URL: <https://www.geokniga.org/books/5135> (дата обращения: 28.02.2021).
2. Селиханович, В. Г. Практикум по геодезии: учебное пособие / В. Г. Селиханович, В. П. Козлов, Г. П. Логинова. — М. Альянс, 2006. — 382 с. — Текст: электронный // Геологическая библиотека GEOKNIGA: [сайт]. — URL: <https://www.geokniga.org/books/4995> (дата обращения: 28.02.2021).
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов / Федеральная служба геодезии и картографии России. — М.: Картгеоцентр–Геодезиздат, 2004. — 244 с. — Текст электронный // Информационная система МЕГАНОРМ: [электронный ресурс]. — URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293855/4293855518.pdf> (дата обращения: 28.02.2021).
4. Чугреев, И. Г. Полигонометрия. Привязочные работы: учебное пособие / И. Г. Чугреев. — М.: МИИГАиК, 2009. — 122 с. — Текст электронный // Архив методических указаний ФДФО МИИГАиК: [электронный ресурс]. — URL: <http://miigaik.ru/upload/medialibrary/51a/51a4bf45d95ba0816a66d88691dcdac7.pdf> (дата обращения: 28.02.2021).

дополнительная литература:

5. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. — М.: Роскартография, 2004. — 28 с. — Текст: электронный // Информационная система МЕГАНОРМ: [электронный ресурс]. — URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293855/4293855509.pdf> (дата обращения: 28.02.2021).
6. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. — М.: Недра, 1982. — 160 с. — Текст: электронный // Информационная система МЕГАНОРМ: [электронный ресурс]. — URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293842/4293842648.pdf> (дата обращения: 28.02.2021).
7. Маркузе, Ю. И. Теория математической обработки геодезических измерений: учебное пособие для вузов / Ю. И. Маркузе, В. В. Голубев. — М.: Академический Проект, Альма Матер, 2015. — 248 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/36737.html> (дата обращения: 28.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
8. Швец, С. В. Методические указания для выполнения контрольной работы №3 по курсу «Геодезия» для студентов заочного факультета: учебно-методическое пособие / С. В. Швец, И. В. Калинина. — М.: МИИГАиК, 2010. — 61 с. — Текст: электронный // Архив методических указаний ФДФО МИИГАиК: [сайт]. — URL: <http://www.miigaik.ru/fdfo/guidelines/correspondence/2-course/> (дата обращения: 28.02.2021).

**Приложение 1. Пример оформления страницы журнала
нивелирования IV класса**

СТРАНИЦА ЖУРНАЛА НИВЕЛИРОВАНИЯ IV КЛАССА

Ход от Рп2032 до Рп3

Начало 10:00, конец 10:45.

Погода: ясно, без ветра.

Номер штатива	Дальномерные расстояния	Отсчёты по рейкам		Превышение	Среднее превышение
		задняя	передняя		
1	102 (7)	0598 (1)	2492 (3)		–1896 (13)
	100 (8)	0496 (2)	2392 (4)	–1896 (11)	
1–2	+2 (24a)	5196 (6)	7193 (5)	–1997 (12)	
	+2 (24б)	4700 (9)	4801 (10)	+101 (14)	
2	76	0754	2100		–1345
	77	0678	2023	–1345	
2–1	–1	5479	6723	–1244	
	+1	4801	4700	–101	
3	68	0573	2508		–1936
	67	0505	2441	–1936	
1–2	+1	5205	7242	–2037	
	+2	4700	4801	+101	
4	65	0322	2155		–1834
	65	0257	2090	–1833	
2–1	0	5057	6790	–1733	
	+2	4800	4700	–100	
Постраничные вычисления	620 (21)	22873 (15)	36894 (16)	–14021 (17)	–7011 (18)
		36894 (16)		–7011 (20)	
		–14021 (19)			
Посекционные вычисления	$\sum$ (21)	$\sum$ (15)	$\sum$ (16)	$\sum$ (17)	$\sum$ (18)
	(25)	$\sum$ (16)		(24)	
		(23)			

Приложение 2. Пример уравнивания одиночного нивелирного хода

ВЕДОМОСТЬ ПРЕВЫШЕНИЙ И ВЫСОТ РЕПЕРОВ НИВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

Номер секции	Вид и номер нивелирного репера, тип центра	Местоположение нивелирного репера	Расстояние от начального репера между реперами, км	Число штативов в ходе прямо обратно	Измеренное превышение, м		Разность превышений, мм	Среднее превышение, м	Поправка за уравнивание, мм	Уравненное превышение, м	Высота в Балтийской системе высот, м	Примечание
					Прямой ход	Обратный ход						
Линия № 1 от М46 до М3												
Исполнитель: ст. техник Петров Н.Н. Дата: 11-13.07.2020.												
	М46										151,635	Высота получена из каталога пунктов нивелирования II класса
1			0,0	20	+3,617	−3,627	−10	+3,622	+1	+3,623		
			3,1	20								
	Рп5731										155,258	
2			3,1	31	+5,169	−5,178	−9	+5,174	+2	+5,176		
			4,7	31								
	Рп3177										160,434	
3			7,8	26	−5,343	+5,349	+6	−5,346	+2	−5,344		
			3,9	26								
	Рп4067										155,090	
4			11,7	35	+9,659	−9,663	−4	+9,661	+2	+9,663		
			5,2	35								
	Рп3793										164,753	
5			16,9	39	−8,246	+8,265	+19	−8,256	+3	−8,253		
			5,9	39								
	М3										156,500	Высота получена из каталога пунктов нивелирования II класса
		Итого по линии:	22,8	151	+4,856	−4,854	+2	+4,855	+10	+4,865		
		$H_{\text{кон.}} - H_{\text{нач.}} =$	+4,865 м									
		$f_h = 10 \text{ мм}\sqrt{L} =$	−10 мм									
		доп. $f_h =$	48 мм									
		Поправка на 1 км хода:										
		$f_h/L =$	+0,4 мм									
		$m_{\text{км}} =$	2,5 мм									

ВЕДОМОСТЬ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Пункт	$\bar{H}$, м	$p_{\bar{H}}$	$m_{\bar{H}}$, мм
М46	151,635		
РП5731	155,258	0,37	4,1
РП3177	160,434	0,19	5,7
РП4067	155,090	0,18	5,9
РП3793	164,753	0,23	5,2
М3	156,500		

Приложение 3. Пример уравнивания нивелирной сети способом последовательных приближений

ВЕДОМОСТЬ УРАВНИВАНИЯ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ СПОСОБОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

№ узловой точки	№ хода	№ исходных марок и узловых точек	отметки исходных марок	Измеренные превышения	Длины ходов	Веса измерений	Отметки узловых точек							v (мм)	pv (мм)	pv^2 (мм ²)
							$H^{(1)}$	$H^{(2)}$	$H^{(3)}$	$H^{(4)}$	$H^{(5)}$	$H^{(6)}$	$H^{(7)}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	2047	348,187	−4,280	10,7	0,93	343,907	343,907	343,907					−3,0	−2,79	8,37
42	4	12		+8,483	7,5	1,33		343,903 ₆	343,903 ₁					+0,9	+1,19	1,08
	8	0831	342,328	+1,574	13,3	0,75	343,902	343,902	343,902					+2,0	+1,50	3,00
						3,01	343,904 ₈	343,904 ₃	343,904 ₀						−0,10	
	3	2047	348,187	−0,325	6,3	1,59	347,862	347,862	347,862					+0,1	+0,15	0,02
8	5	12		+12,438	7,7	1,30		347,858 ₆	347,858 ₁					+4,0	+5,20	20,80
	7	0831	342,328	+5,539	9,3	1,08	347,867	347,867	347,867					−4,9	−5,29	25,93
						3,97	347,864 ₀	347,862 ₂	347,862 ₁						+0,06	
	2	2047	348,187	−12,768	5,8	1,72	335,419	335,419	335,419					+1,1	+1,89	2,08
12	4	42		−8,483	7,5	1,33	335,421 ₈	335,421 ₃	335,421 ₀					−0,9	−1,19	—
	6	0831	342,328	−6,910	4,4	2,27	335,418	335,418	335,418					+2,1	+4,76	10,01
	5	8		−12,438	7,7	1,30	335,426 ₀	335,424 ₂	335,424 ₁					−4,0	−5,20	—
						6,62	335,420 ₆	335,420 ₁	335,420 ₁						+0,26	71,29
							$\mu =$	3,7 мм	$p_{\bar{H}_{Pn42}} =$	2,74	$m_{\bar{H}_{Pn42}} =$	2,3 мм				
							$m_{KM} =$	1,2 мм	$p_{\bar{H}_{Pn8}} =$	3,71	$m_{\bar{H}_{Pn8}} =$	2,0 мм				
							$m_{\mu} =$	1,2 мм	$p_{\bar{H}_{Pn12}} =$	5,61	$m_{\bar{H}_{Pn12}} =$	1,6 мм				

**Приложение 4. Пример определения длин линий,
измеренных светодальномером**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАССТОЯНИЙ
ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ
SOKKIA CX-105**

Станция: St3

Цель: M21

Угол наклона: +95°33'18" (M0=90°00'00")

Время измерений	7:00	13:00	19:00
Поправка за отражатель, мм	0		
p, мбар	915	905	901
t, °C	+10	+11	+7
φ, %	70	60	55
x	1,0890	1,1180	1,0001
ΔD_1 , мм/км	+26	+30	+27
Результаты однократных измерений на дисплее, D _n , м	528,165 528,162 528,163	528,168 528,164 528,164	528.165 528.162 528.161
D _{ср.} , м	528,163	528,165	528,163
ΔD_2	0,995304	0,995304	0,995304
Горизонтальное проложение, S, м	525,683	525,685	525,682
H, м	700		
ΔD_3 , мм/км	-110		
Y, км	100		
ΔD_4 , мм/км	+123		
S _{испр.} , м	525,696	525,698	525,696
S _{испр.,ср.} , м	525,697		

**Приложение 5. Пример вычисления рабочих координат пунктов
полигонометрического хода без угловой привязки**

ПЕРВОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

	Углы поворота			Дирекционные углы			S	$\Delta X'$	$\Delta Y'$
	°	'	"	°	'	"	м	м	м
ПП40									
				0	00	00,0	552,017	+552,017	0,000
1	247	51	13,1						
				67	51	13,1	565,349	+213,122	+523,639
2	156	32	37,5						
				44	23	50,6	339,034	+242,241	+237,199
3	139	20	13,9						
				3	44	04,5	400,419	+399,569	+26,081
4	157	18	32,7						
				341	02	37,2	356,847	+337,494	-115,921
5	170	07	02,5						
				331	09	39,7	372,273	+326,103	-179,566
6	179	59	41,3						
				331	09	21,0	348,732	+305,467	-168,239
ПП78									
				$d_{\text{практ.}}$	=	+2376,012 м			
				$d_{\text{ист.}}$	=	-1281,861 м	+2026,442 м		
				[S]	=	2934,671 м			
				$R1_{\text{ист.}}$	=	2397,840 м			
				$\text{tg } r$	=	-1,5808594			
				$\alpha_{R1_{\text{ист.}}}$	=	122° 18' 58,0"			
				$R1'$	=	2397,893 м			
				dr	=	0,053131			
				$dr/R1_{\text{ист.}}$	=	0,000022			
				$1/T$	=	1/44000	< 1/25000		
				$\text{tg } r'$	=	0,1360238			
				α'	=	7° 44' 45,8"			
				$d\alpha$	=	122° 18' 58,0"			

ВТОРОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

[illegible]

Приложение 6. Макет титульного листа контрольной работы

**«Московский государственный университет
геодезии и картографии»**

КАФЕДРА ГЕОДЕЗИИ

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №3
по геодезии

студента заочного отделения ФДФО

направления подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование

фамилия

имя

отчество

Шифр: _____

20__ год

Приложение 7. Индивидуальные варианты задания №1

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

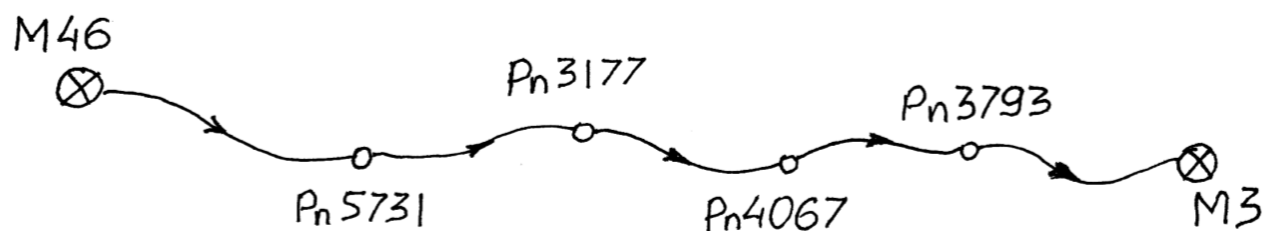
Последняя цифра i_5 шифра / номер станции	Последовательность станций, принимаемых в обработку	Отсчёты по задней рейке (мм)	Отсчёты по передней рейке (мм)
0	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	1669 1492 6192	1798 1634 6434
1	7, 6, 5, 4, 3, 2, 1	1070 0881 5680	2620 2427 7128
2	1, 2, 5, 6, 9, 0, 3	0413 0238 4938	2919 2750 7548
3	3, 2, 7, 8, 5, 4, 9	0481 0382 5182	2741 2638 7338
4	9, 8, 7, 4, 5, 6, 3	0744 0679 5380	2730 2662 7463
5	5, 4, 3, 8, 7, 2, 9	0374 0331 5132	2198 2145 6846
6	7, 2, 5, 8, 3, 4, 9	0989 0510 5210	2761 2290 7090
7	3, 8, 7, 6, 1, 0, 5	0620 0295 5095	2803 2464 7166
8	5, 4, 1, 0, 7, 2, 9	1024 0862 5563	1858 1680 6480
9	9, 6, 3, 8, 1, 0, 7	0399 0265 5065	2678 2552 7252

СТРАНИЦА ЖУРНАЛА НИВЕЛИРОВАНИЯ IV КЛАССА

Номер штатива	Дальномерные расстояния	Отсчёты по рейкам		Превышение	Среднее превышение
		задняя	передняя		
Постраничные вычисления					
Посекционные вычисления					

Приложение 8. Индивидуальные варианты задания №2

СХЕМА ОДИНОЧНОГО НИВЕЛИРНОГО ХОДА



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

М	$H_{\text{исх.}} \text{ (м)}$	Секция	$h_{\text{пр.}} \text{ (м)}$	$h_{\text{обр.}} \text{ (м)}$	$L \text{ (км)}$
M46	151,635	M46 → Pп5731	$+3,617 - 10^{-3}i_1$	$-3,627 + 10^{-3}i_1$	$3,1 + 0,1i_1$
M3	156,500	Pп5731 → Pп3177	$+5,169 - 10^{-3}i_2$	$-5,178 + 10^{-3}i_2$	$4,2 - 0,1i_2$
		Pп3177 → Pп4067	$-5,343 + 10^{-3}i_3$	$+5,349 - 10^{-3}i_3$	$3,9 + 0,1i_3$
		Pп4067 → Pп3793	$+9,659 - 10^{-3}i_4$	$-9,663 + 10^{-3}i_4$	$5,2 - 0,1i_4$
		Pп3793 → M3	$-8,246 + 10^{-3}i_5$	$+8,265 - 10^{-3}i_5$	$5,9 + 0,1i_4$

ВЕДОМОСТЬ ПРЕВЫШЕНИЙ И ВЫСОТ РЕПЕРОВ НИВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

[illegible]

Приложение 9. Индивидуальные варианты задания №3

СХЕМЫ НИВЕЛИРНЫХ СЕТЕЙ

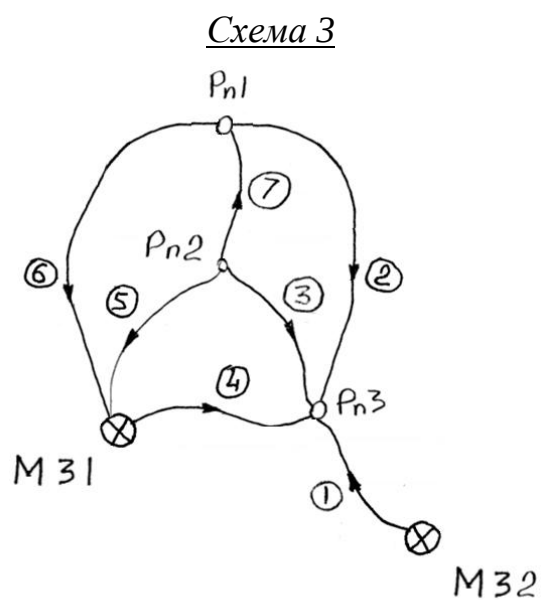
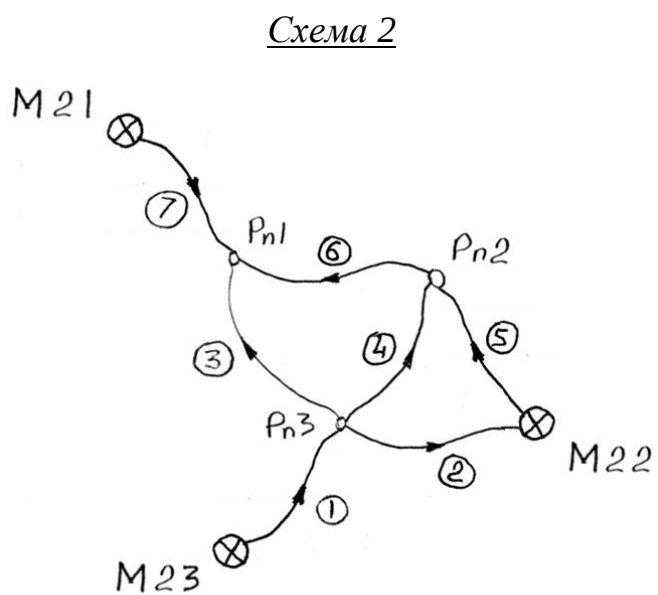
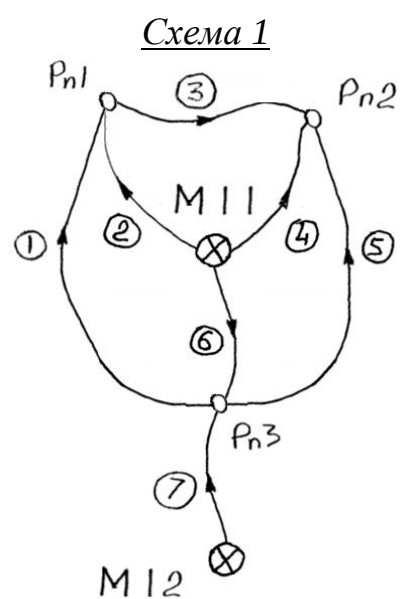
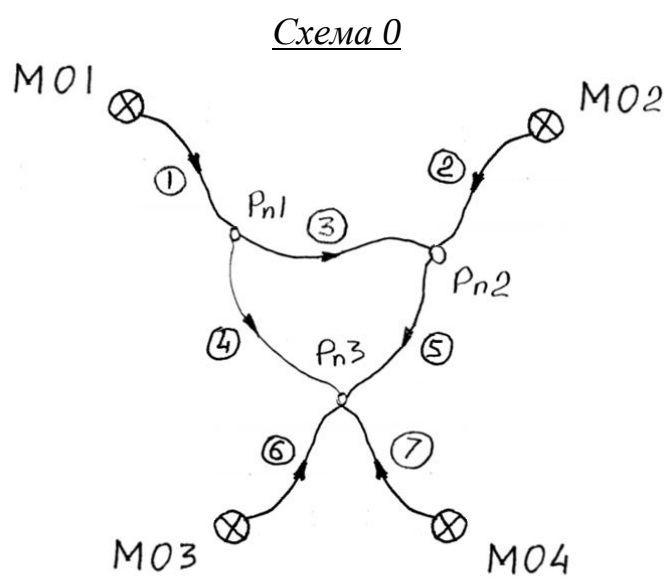


Схема 4

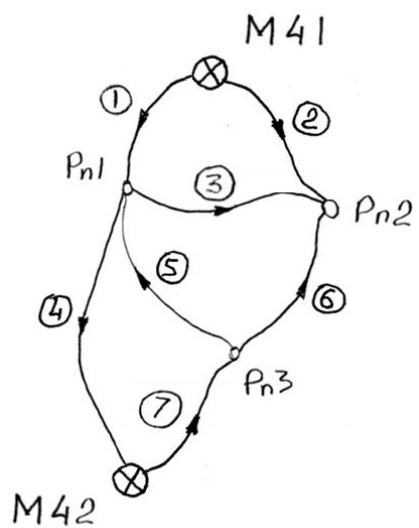


Схема 5

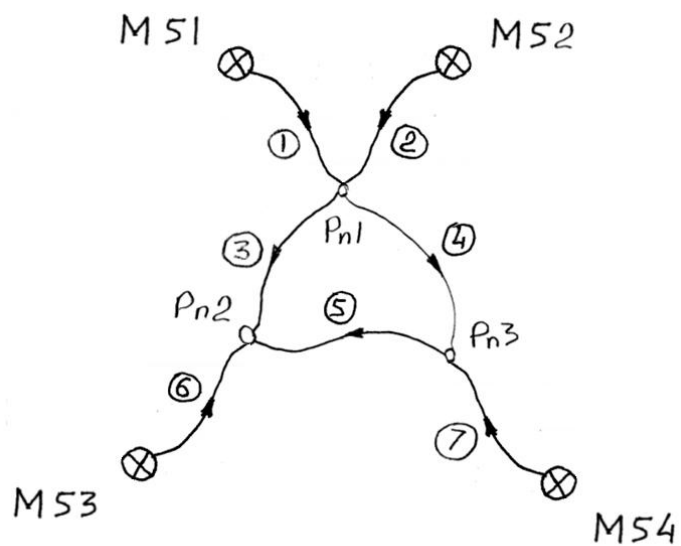


Схема 6

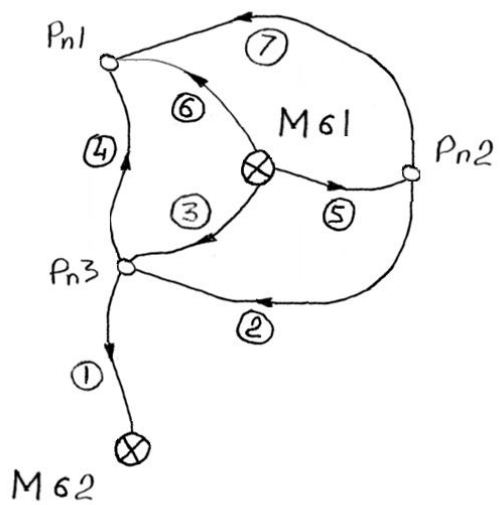


Схема 7

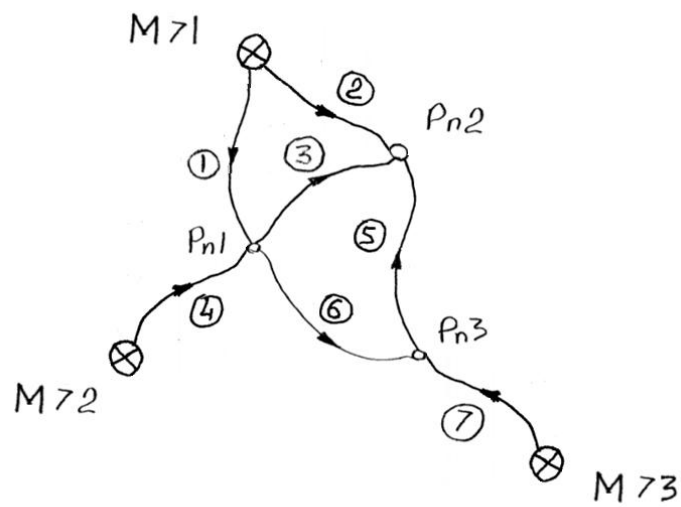


Схема 8
M 81

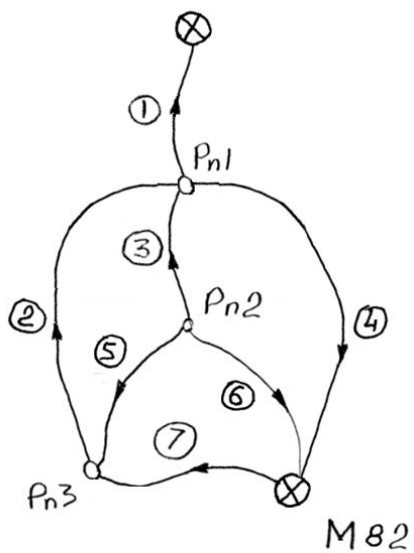
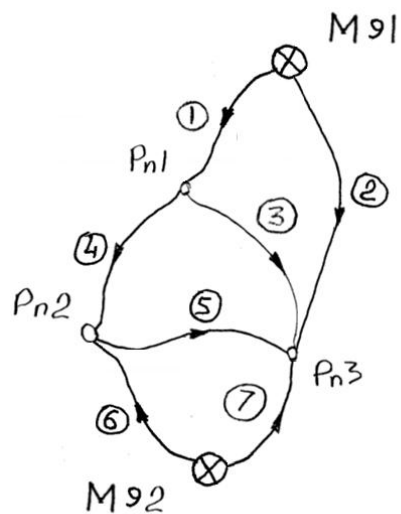


Схема 9



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

М	Н _{исх.} (м)	№	h _i (м)	L _i (км)	М	Н _{исх.} (м)	№	h _i (м)	L _i (км)
<u>Сеть 0</u>					<u>Сеть 1</u>				
M01	234,615	1	+9,299 + 10 ⁻³ i ₁	5,0 + 0,1i ₁	M11	179,911	1	-4,228 + 10 ⁻³ i ₁	8,8 + 0,1i ₁
M02	241,042	2	-6,225 - 10 ⁻³ i ₂	7,8 - 0,1i ₂	M12	178,409	2	+1,482 - 10 ⁻³ i ₂	6,9 + 0,1i ₂
M03	239,775	3	-9,090 - 10 ⁻³ i ₃	7,0 + 0,1i ₃			3	-2,099 + 10 ⁻³ i ₃	5,2 - 0,1i ₃
M04	235,741	4	-2,426 + 10 ⁻³ i ₄	6,5 - 0,1i ₄			4	-0,625 - 10 ⁻³ i ₄	8,6 - 0,1i ₄
		5	+6,659 - 10 ⁻³ i ₄	5,8 + 0,1i ₄			5	-6,324 + 10 ⁻³ i ₄	5,4 - 0,1i ₄
		6	+1,708 + 10 ⁻³ i ₅	6,5 - 0,1i ₅			6	+5,705 - 10 ⁻³ i ₅	8,2 + 0,1i ₅
		7	+5,740 - 10 ⁻³ i ₅	6,7 + 0,1i ₅			7	+7,206 + 10 ⁻³ i ₅	6,1 - 0,1i ₅
<u>Сеть 2</u>					<u>Сеть 3</u>				
M21	231,402	1	+1,845 - 10 ⁻³ i ₁	7,3 - 0,1i ₁	M31	203,933	1	+2,474 - 10 ⁻³ i ₁	7,6 - 0,1i ₁
M22	225,380	2	-0,305 + 10 ⁻³ i ₂	5,8 + 0,1i ₂	M32	199,316	2	+0,567 + 10 ⁻³ i ₂	7,3 + 0,1i ₂
M23	223,844	3	+1,012 - 10 ⁻³ i ₃	5,7 + 0,1i ₃			3	+4,722 + 10 ⁻³ i ₃	8,8 + 0,1i ₃
		4	-0,598 + 10 ⁻³ i ₄	5,6 + 0,1i ₄			4	-2,144 - 10 ⁻³ i ₄	6,1 - 0,1i ₄
		5	-0,283 - 10 ⁻³ i ₄	5,6 - 0,1i ₄			5	+6,878 + 10 ⁻³ i ₄	7,2 - 0,1i ₄
		6	+1,622 - 10 ⁻³ i ₅	6,0 + 0,1i ₅			6	+2,707 + 10 ⁻³ i ₅	8,9 + 0,1i ₅
		7	-4,696 + 10 ⁻³ i ₅	7,4 - 0,1i ₅			7	+4,156 - 10 ⁻³ i ₅	8,5 - 0,1i ₅
<u>Сеть 4</u>					<u>Сеть 5</u>				
M41	235,770	1	-1,378 + 10 ⁻³ i ₁	5,5 - 0,1i ₁	M51	260,886	1	-5,378 - 10 ⁻³ i ₁	8,1 + 0,1i ₁
M42	232,665	2	-2,362 - 10 ⁻³ i ₂	8,2 + 0,1i ₂	M52	261,888	2	-6,382 + 10 ⁻³ i ₂	7,8 - 0,1i ₂
		3	-0,983 + 10 ⁻³ i ₃	7,9 - 0,1i ₃	M53	264,011	3	+0,518 + 10 ⁻³ i ₃	8,5 + 0,1i ₃
		4	-1,716 - 10 ⁻³ i ₄	7,7 + 0,1i ₄	M54	258,694	4	+3,356 - 10 ⁻³ i ₄	6,3 - 0,1i ₄
		5	+3,885 + 10 ⁻³ i ₄	5,6 + 0,1i ₄			5	-2,839 + 10 ⁻³ i ₄	6,0 - 0,1i ₄
		6	+2,907 - 10 ⁻³ i ₅	7,1 - 0,1i ₅			6	-7,991 - 10 ⁻³ i ₅	6,3 + 0,1i ₅
		7	-2,159 + 10 ⁻³ i ₅	7,1 - 0,1i ₅			7	+0,176 + 10 ⁻³ i ₅	7,9 + 0,1i ₅
<u>Сеть 6</u>					<u>Сеть 7</u>				
M61	220,114	1	+1,069 - 10 ⁻³ i ₁	5,5 + 0,1i ₁	M71	201,631	1	+1,732 + 10 ⁻³ i ₁	7,8 + 0,1i ₁
M62	215,422	2	-1,961 + 10 ⁻³ i ₂	9,7 - 0,1i ₂	M72	209,707	2	+4,855 - 10 ⁻³ i ₂	7,0 - 0,1i ₂
		3	-5,758 - 10 ⁻³ i ₃	9,6 - 0,1i ₃	M73	203,679	3	+3,127 + 10 ⁻³ i ₃	7,5 - 0,1i ₃
		4	+2,407 + 10 ⁻³ i ₄	6,5 + 0,1i ₄			4	-6,344 - 10 ⁻³ i ₄	5,1 - 0,1i ₄
		5	-3,806 - 10 ⁻³ i ₄	8,4 + 0,1i ₄			5	-2,959 + 10 ⁻³ i ₄	8,0 + 0,1i ₄
		6	-3,345 + 10 ⁻³ i ₅	9,7 - 0,1i ₅			6	+6,070 + 10 ⁻³ i ₅	9,4 - 0,1i ₅
		7	+0,450 - 10 ⁻³ i ₅	7,9 + 0,1i ₅			7	+5,755 - 10 ⁻³ i ₅	6,5 + 0,1i ₅
<u>Сеть 8</u>					<u>Сеть 9</u>				
M81	123,228	1	-5,610 + 10 ⁻³ i ₁	6,6 - 0,1i ₁	M91	260,220	1	+4,451 - 10 ⁻³ i ₁	8,9 - 0,1i ₁
M82	130,468	2	+5,578 - 10 ⁻³ i ₂	6,2 - 0,1i ₂	M92	257,920	2	-4,002 + 10 ⁻³ i ₂	7,1 + 0,1i ₂
		3	-0,555 - 10 ⁻³ i ₃	8,1 + 0,1i ₃			3	-8,467 - 10 ⁻³ i ₃	7,6 - 0,1i ₃
		4	+1,627 + 10 ⁻³ i ₄	8,4 + 0,1i ₄			4	-9,205 + 10 ⁻³ i ₄	6,7 + 0,1i ₄
		5	-6,138 - 10 ⁻³ i ₄	7,3 + 0,1i ₄			5	+0,739 - 10 ⁻³ i ₄	5,6 - 0,1i ₄
		6	+1,076 - 10 ⁻³ i ₅	5,7 - 0,1i ₅			6	-2,453 + 10 ⁻³ i ₅	8,6 + 0,1i ₅
		7	-7,203 + 10 ⁻³ i ₅	6,3 + 0,1i ₅			7	-1,703 - 10 ⁻³ i ₅	9,4 - 0,1i ₅

ВЕДОМОСТЬ УРАВНИВАНИЯ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ СПОСОБОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

[illegible]

Приложение 10. Индивидуальные варианты задания №4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАССТОЯНИЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ LEICA TS03

Станция: St3

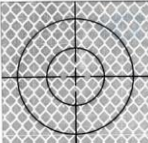
Цель: M21

Угол наклона: $+92^{\circ}16'27''+i_5'$ ($M_0=90^{\circ}00'00''$)

Время измерений	7:00	13:00	19:00
Поправка за отражатель, мм			
p, мбар	$1000-i_3$	$1013+i_3$	$1005+i_3$
t, °C	$+14+i_4$	$+23+i_4$	$+19+i_4$
φ, %	$82-i_5$	$76-i_5$	$40-i_5$
x			
ΔD_1 , мм/км			
Результаты однократных измерений на дисплее, D _п , м	$219,163+10^{-3}i_3$ $219,160+10^{-3}i_4$ $219,161+10^{-3}i_5$	$219,165+10^{-3}i_3$ $219,161+10^{-3}i_4$ $219,162+10^{-3}i_5$	$219.162+10^{-3}i_3$ $219.160+10^{-3}i_4$ $219.164+10^{-3}i_5$
D _{ср.} , м			
ΔD_2			
Горизонтальное проложение, S, м			
H, м	$170+10^{+1}i_4$		
ΔD_3 , мм/км			
Y, км	$216+10^{+1}i_5$		
ΔD_4 , мм/км			
S _{испр.} , м			
S _{испр.,ср.} , м			

Вывод: _____

ПОПРАВКИ ЗА ОТРАЖАТЕЛЬ ДЛЯ ТАХЕОМЕТРОВ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ (В ММ)

i_5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	призмы 0 мм (кроме Leica)	призмы –30 мм (кроме Leica)	мини- призма Leica	Leica True-Zero	Leica 360°	мини- призма Leica 360°	Geobox	призма УОМЗ	плёнка	без отражателя
										
SOKKIA	0	–30	–16,9	0	–11,3	–4,4	–34,4	–44,4	0	0
TOPCON	0	–30	–16,9	0	–11,3	–4,4	–34,4	–44,4	0	0
TRIMBLE	0	–30	–16,9	0	–11,3	–4,4	–34,4	–44,4	0	0
GEOMAX	+34,4	+4,4	+17,5	+34,4	+23,1	+30	0	–10	+34,4	+34,4
LEICA	+34,4	+4,4	+17,5	+34,4	+23,1	+30	0	–10	+34,4	+34,4
УОМЗ	+44,4	+14,4	+27,5	+44,4	+33,1	+40	+10	0	+44,4	+44,4

Приложение 11. Индивидуальные варианты задания №5

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

	X, м	Y, м
ПП40	10901,025	7050,400
ПП78	9619,164	9076,842

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

	УГЛЫ поворота			S
	°	'	"	м
ПП40				
				$552,007+10^{-3}i_1$
1	247	51	$08,1+10^{-1}i_1$	
				$565,338+10^{-3}i_2$
2	156	32	$34,9+10^{-1}i_2$	
				$339,025+10^{-3}i_3$
3	139	20	$10,9+10^{-1}i_3$	
				$400,408+10^{-3}i_4$
4	157	18	$32,0+10^{-1}i_4$	
				$356,831+10^{-3}i_5$
5	170	06	$59,2+10^{-1}i_5$	
				$372,263+10^{-3}i_1$
6	179	59	$40,8+10^{-1}i_1$	
				$348,716+10^{-3}i_2$
ПП78				

ПЕРВОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

[illegible]

ВТОРОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

[illegible]