

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**В.Ю. Берчук, Н.В. Кончакова, В.Н. Поцелуев**

## **РУКОВОДСТВО ПО УЧЕБНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2013

УДК 528.3(075.8)  
ББК 26.11я73

**Берчук В.Ю., Кончакова Н.В., Поцелуев В.Н.**

Р279       Руководство по учебной геодезической практике / В.Ю. Берчук, В.Н. Поцелуев, Н.В. Кончакова. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 56 с.

Руководство по учебной геодезической практике предназначено для групп студентов, в учебных планах которых предусмотрено прохождение летней геодезической практики.

В пособии излагается теоретический материал, касающийся основных этапов геодезических работ, как полевых, так и камеральных. Приведены правила работы и техника безопасности при работе с приборами и принадлежностями, рекомендации по написанию отчета и заполнению журналов, таблиц, оформлению графического материала.

УДК 528.3(075.8)  
ББК 26.11я73

*Рецензенты*

*Кандидат технических наук, доцент ТПУ*

*Н.А. Антропова*

*Директор ООО «Эталон-2000»*

*В.В. Андреев*

*Директор ООО «Абрис»*

*Н.В. Ильченко*

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2013  
© В.Ю. Берчук, Н.В. Кончакова,  
В.Н. Поцелуев., 2013  
© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2013

ВВЕДЕНИЕ.....	4
<b>Глава I Организация практики.....</b>	<b>5</b>
Бригада. Обязанности бригадира.....	6
Получение инструментов и уход за ними.....	7
<b>Глава II Правила обращения с оптическими геодезическими приборами .....</b>	<b>8</b>
Подготовка прибора к работе: .....	8
Работа с прибором: .....	9
Техника безопасности при работе с геодезическими приборами и принадлежностями....	10
<b>Глава III Поверки приборов .....</b>	<b>11</b>
Поверки теодолитов.....	11
Поверки нивелиров .....	15
<b>Глава IV Измерения, проводимые с помощью приборов.....</b>	<b>17</b>
Подготовка прибора к работе.....	17
Измерение горизонтальных углов.....	18
Измерение вертикальных углов.....	19
Измерение дальномерного расстояния с помощью нитяного дальномера.....	20
<b>Глава V Тахеометрическая съемка.....</b>	<b>22</b>
1. Рекогносцировка .....	22
2. Измерения по созданию съемочной сети прокладкой тахеометрического планово-высотного хода.....	24
Работа на станции при прокладке тахеометрического хода .....	24
Привязка тахеометрического хода к пункту местной или государственной геодезической сети.....	25
3. Съемка ситуации и рельефа .....	27
Последовательность работы на станции при проведении тахеометрической съемки ..	28
4. Камеральная обработка .....	30
Порядок заполнения полевого журнала измерений углов и длин линий тахеометрического хода.....	31
Ведомость вычисления координат точек тахеометрического хода .....	33
Порядок заполнения ведомости вычисления координат точек тахеометрического хода34	34
Порядок обработки ведомости высот станций тахеометрического хода .....	38
Ведомость высот станций тахеометрического хода.....	38
Заполнение и обработка журнала тахеометрической съемки.....	39
Графическая обработка материалов тахеометрической съемки.....	42
Построение координатной сетки.....	43
Построение по координатам точек-вершин тахеометрических ходов.....	43
Нанесение рельефа и ситуации на план.....	44
Оформление плана.....	45
<b>Глава VI Линейное техническое нивелирование.....</b>	<b>46</b>
Нивелирование «из середины» .....	46
Порядок работы на станции: .....	48
Порядок обработки журнала технического нивелирования .....	48
Составление профиля нивелирования.....	51
<b>Глава VII Расчет элементов выноса проекта в натуру.....</b>	<b>52</b>
<b>Глава VIII Отчет по учебной геодезической практике.....</b>	<b>54</b>
Список литературы: .....	56

## **ВВЕДЕНИЕ**

Руководство по учебной геодезической практике написано в соответствии с действующими программами практик для групп студентов, в учебных планах которых предусмотрено прохождение летней геодезической практики.

Учебная геодезическая практика является завершающим этапом изучения дисциплин «Основы геодезии и топографии», «Геодезия» и предназначена для закрепления и углубления теоретических знаний, практических навыков и умений, полученных в ходе лекционного курса, лабораторных и практических работ.

Теоретический материал, представленный в данном пособии, составлен с таким расчетом, чтобы студенты проходящие практику имели информационную поддержку по всем видам работ, предусмотренным программой учебной практики.

В процессе прохождения практики студенты закрепляют навыки обращения с геодезическими приборами и принадлежностями, познают организацию и технологию работ как полевого, так и камерального этапов при проведении геодезических работ, приобретают социально-личностные компетенции, необходимых в профессиональной среде.

## Глава I Организация практики

Геодезическая практика проводится на специально выбранном участке местности – учебном полигоне.

Согласно утвержденных учебных планов, продолжительность практики составляет **2 недели**. Работы проводятся **6 дней** в неделю (воскресенье – выходной). Продолжительность рабочего дня учащихся, составляет **6 часов**.

Рекомендуемый распорядок дня на практике следующий:

9 <sup>00</sup> – 9 <sup>20</sup>	Сбор, контроль посещаемости, опрос студентов
9 <sup>20</sup> – 9 <sup>30</sup>	Получение, проверка инструментов
9 <sup>30</sup> – 10 <sup>40</sup>	Переход на участок работ
10 <sup>40</sup> – 12 <sup>00</sup>	Полевые работы

**12<sup>00</sup> – 13<sup>00</sup> Обед и отдых на полигоне**

13 <sup>00</sup> – 15 <sup>40</sup>	Полевые работы
15 <sup>40</sup> – 16 <sup>00</sup>	Возвращение приборов, подведение итогов рабочего дня

Программа учебной практики по геодезии определяется перечнем работ и их объемом, приведенным в табл. 1.

Баланс времени по каждому виду работ устанавливается из такого расчета, что ненастные дни будут использованы для подготовительных и камеральных работ.

Каждый учащийся обязан выполнить все геодезические работы, предусмотренные программой практики, в установленные сроки.

**Пропуски и опоздания** на учебную геодезическую практику **не допускаются**.

Для успешного выполнения практики, перед проведением того или иного вида геодезических работ, обучающимся необходимо изучить соответствующую тему в учебном пособии или в других литературных источниках.

Таблица 1

*Объем работ и распределение времени по видам работ*

№ п/п	Разделы (этапы) практики	Виды работ на практике, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля
		Полевая	Камеральная	Самостоятельная	
1	Подготовительная работа (инструктаж, закрепление и получение приборов, разбивка на бригады и т. д.)		4		Собеседование
2	Проверка и юстировка приборов, тренировка в выполнении измерений горизонтальных вертикальных углов, дальномерных расстояний	4		1	Собеседование
3	Рекогносцировка, выбор и закрепление на местности точек теодолитного хода	2		0,2	Собеседование
	Измерения по созданию съемочной сети прокладкой теодолитного хода	8		1	Собеседование
4	Плано-высотная привязка съемочной сети к местному пункту ГГС.	1		0,2	Собеседование
5	Расчёт данных и заполнение ведомостей: вычисления координат, превышений, увязки превышений и др.		3	1	Собеседование
6	Геометрическое нивелирование	6		1	Собеседование
7	Обработка журнала геометрического нивелирования. Вычерчивание профиля местности		4	1,6	Собеседование
8	Тахеометрическая съемка	7		1	Собеседование
9	Составление картографического материала		6		Собеседование
10	Разбивочные работы по вынесению проекта в натуру	2	3		Собеседование
12	Составление и защита отчета		7	8	зачет
<b>ВСЕГО:</b>		30	27	15	72

**Бригада. Обязанности бригадира**

Учебно-производственной единицей на практике является бригада в составе 4-6 человек, возглавляемая бригадиром. Бригадир выбирается студентами из членов бригады. **В обязанности бригадира входит:**

1. получение инструментов;
2. распределение обязанностей между членами бригады так, чтобы каждый студент выполнил поочередно все виды работ;
3. соблюдение трудовой дисциплины, правил техники безопасности и внутреннего распорядка каждым членом бригады;
4. систематическое заполнение табеля посещаемости и дневника работ;
5. Наблюдение за надлежащим хранением и правильным использованием геодезического оборудования студентами [4].

**Бригада полностью несет материальную ответственность при порче или утрате геодезических инструментов и принадлежностей.**

### ***Получение инструментов и уход за ними***

Необходимые для выполнения работ инструменты, приборы, пособия бригады получают от сотрудника кафедры под роспись в журнале выдачи и возврата приборов. При получении и возврате приборов бригадам следует производить внешний осмотр. При осмотре инструментов проверяется следующее:

1. сохранность комплекта (согласно описи);
2. плавность вращения всех деталей, рукояток и винтов (лимба, алидады, зрительной трубы, кремальеры, зажимных, микрометренных и подъемных винтов);
3. сохранность уровней при алидадах горизонтального и вертикального угломерных кругов, плавность перемещения пузырьков уровней;
4. исправность отчетной системы (линзы должны быть без царапин, четко видимы штрихи, шкалы);
5. исправность зрительной трубы (поле зрения трубы должно быть чистым, без царапин, трещин, линзы в оправе объектива и окуляре, оправа фокусирующей линзы не должны шататься);
6. чистота инструмента и принадлежностей (не должно быть пыли, грязи, ржавчины и т.д.);
7. исправность системы освещения;
8. исправность столика и ножек штатива и др.

Обо всех обнаруженных недостатках (некомплектность, неисправность) бригадир должен сообщить своему руководителю.

## **Глава II Правила обращения с оптическими геодезическими приборами**

При работе с инструментом необходимо относиться к нему бережно, содержать в чистоте и соблюдать правила обращения с геодезическими приборами.

Геодезические приборы являются сложными высокоточными инструментами, поэтому даже незначительное повреждение инструмента может привести к нарушениям взаимного положения его частей, понизить точность проводимых измерений или вывести инструмент из строя. Поэтому, при транспортировке, хранении и работе с оптическими приборами в лаборатории и в поле необходимо строго соблюдать правила ухода за инструментами и их эксплуатации [5, 7].

Инструмент должен быть закреплен за одним лицом наблюдателем (бригадиром), который несет всю ответственность за его исправность.

1. Перед началом работы с приборами необходимо изучить устройство, назначение и действие всех его частей и рукояток по паспорту – инструкции к прибору.
2. Прежде чем вынуть прибор из футляра (упаковочного ящика), необходимо установить штатив над точкой измерений с помощью механического отвеса, ножки его вдавить в землю, на глаз отгоризонтировать столик штатива. (Предварительное горизонтирование на глаз столика штатива обеспечит достаточный ход подъемных винтов, при точном горизонтировании прибора по цилиндрическому уровню. Центрирование штатива по отвесу обеспечит необходимое перемещение прибора по столику штатива при центрировании прибора) [7].
3. Установленный на штативе инструмент сразу же! закрепляют станковым винтом и защищают зонтом от прямых солнечных лучей при работе в поле [5, 7].

### ***Подготовка прибора к работе***

1. Ознакомится и запомнить расположение и способ закрепления прибора и приспособлений в упаковочном ящике – футляре [5,7].
2. Извлекать прибор переносить его для закрепления на штативе и обратно следует, держа левой рукой за подставку, а правой за рукоятку (если она есть), или колонку прибора у алидадной части горизонтального круга.
3. При извлечении, установке на штативе и работе с прибором категорически запрещается! касаться руками оптических деталей: линз, зеркал, защитных стекол.
4. Прибор крепить к штативу станковым винтом так, чтобы подъемные винты вращались без излишнего усилия [5, 7].



## **Работа с прибором**

- Закрепительные винты лимба, алидады, зрительной трубы вращать при закреплении без лишних усилий. Не перетягивать!!! так как это приводит к деформации оси вращения, срыву резьбы закрепительного винта.
- Наводящие винты и винт кремальеры должны вращаться плавно с минимальными усилиями. При возникновении затруднений при их вращении наведение прекратить и устранить причину затруднений. Категорически запрещается продолжать вращение наводящего винта при достижении упора!!! Это может привести к срыву тонкой резьбы винта.
- Вращать верхнюю часть прибора вокруг вертикальной оси только после ослабления закрепительного винта лимба или алидады, держа рукой за алидадную часть прибора.
- Вращать зрительную трубу вокруг горизонтальной оси только после ослабления закрепительного винта трубы держа рукой за кожух трубы у окулярной части. Запрещено братья рукой за трубу у объектива!!!
- Вращение вокруг вертикальной и горизонтальной оси должно быть плавным, без затруднений, задержек и применения больших усилий; если вращение затруднено, следует осмотреть прибор, найти неисправность и устранить ее.
- Наводящие (микрометрические) винты работают только после закрепления соответствующих частей прибора закрепительными винтами. Микрометрические винты не являются бесконечными (кроме дорогостоящих современных приборов), поэтому при достижении упора наводящего винта, при вращении в одну или другую сторону, следует установить микрометрический винт в среднее положение, затем открепить закрепительный винт и повернуть прибор на необходимую градусную величину, при необходимости снова использовать наводящий винт.
- Переносить прибор с одной точки измерений на другую можно на штативе, исключая удары, толчки и наклоны от вертикальной оси. Перед этим следует установить зрительную трубу вертикально, закрепить ее, закрепить лимб и алидаду горизонтального угломерного круга. Если точки удалены друг от друга на значительное расстояние, прибор снимается со штатива и переносится в упакованном виде.
- При укладке прибора в кейс необходимо закрепить вращающиеся части прибора и уложить согласно схеме укладки прибора.
- Перевозка и переноска прибора к месту работы и обратно на штативе запрещена и производится только в укладочном кейсе [3, 5, 7].

### Во время работы:

1. прибор защищать зонтом от влаги и прямых солнечных лучей;
2. не допускать попадания на прибор песка, пыли, земли и т.д.;
3. после окончания работы прибор протирают сухой мягкой салфеткой, а оптические детали только специальной кисточкой [3, 5, 7].

### ***Техника безопасности при работе с геодезическими приборами и принадлежностями***

Работы, связанные с использованием геодезических инструментов и принадлежностей, могут вызвать механический травматизм:

1. Уколы об остриё металлических концов штативов.
2. Порезы острыми краями стальных мерных лент и рулеток.
3. Ушибы и ранения от падения оставленной без присмотра у стены нивелирной рейки.

Поэтому при выполнении работ обязательно соблюдение следующих мер предосторожности:

- Переносить штатив нужно только вертикально, ножками вниз. Удерживая острие у самого пола, земли.
- **Категорически запрещается!** раскладывать ножки штатива на весу, т.к. после откручивания зажимного винта нижняя половинка ножки может резко упасть вниз, травмируя остриём колено или стопу. Поэтому штатив приводится в рабочее положение, удерживая его левой рукой остриями на полу, а правой рукой откручиваем зажимные винты.
- При перемещении вокруг установленного на штативе прибора проявлять осторожность и не «спотыкаться» о его ножки, что может вызвать повреждение или падение прибора.
- **Категорически запрещено!** оставлять без присмотра нивелирную рейку прислоненной к стенам, деревьям и т.д.
- Наблюдая в зрительную трубу прибора одним глазом, не рекомендуется щурить или закрывать другой глаз, что может ухудшить зрение второго глаза.
- **Категорически запрещено!** смотреть в зрительную трубу на солнце.
- Производить даже частичную разборку прибора **категорически запрещено!** Разборка оптических приборов может выполняться только в специализированных оптико-механических мастерских квалифицированным мастером [7].

## Глава III Поверки приборов

Перед проведением измерений необходимо убедиться в том, что прибор исправен и позволит выполнить геодезические работы с требуемой точностью. В связи с этим перед выполнением полевых работ проводят поверки приборов.

***Поверка*** - выявление правильности взаимного расположения отдельных частей и осей прибора, определяющих соблюдение его геометрической схемы.

В том случае, если при поверке прибора выявлено нарушение правильного взаимного расположения отдельных частей и осей, то проводят юстировку прибора.

***Юстировка*** - исправление нарушенных условий взаиморасположения осей прибора. Юстировку проводить студентам самостоятельно запрещается!

В комплекте с прибором поставляется техническая документация (паспорт, инструкция), в которой подробно изложены поверки, которые необходимо проводить перед выполнением геодезических работ. Поэтому перед работой с прибором и проведением поверок студенты изучают техническую документацию.

На практике студенты используют приборы разных марок, поэтому поверки приборов могут различаться. Ниже приведены основные поверки, которые необходимо выполнить перед началом проведения измерений.

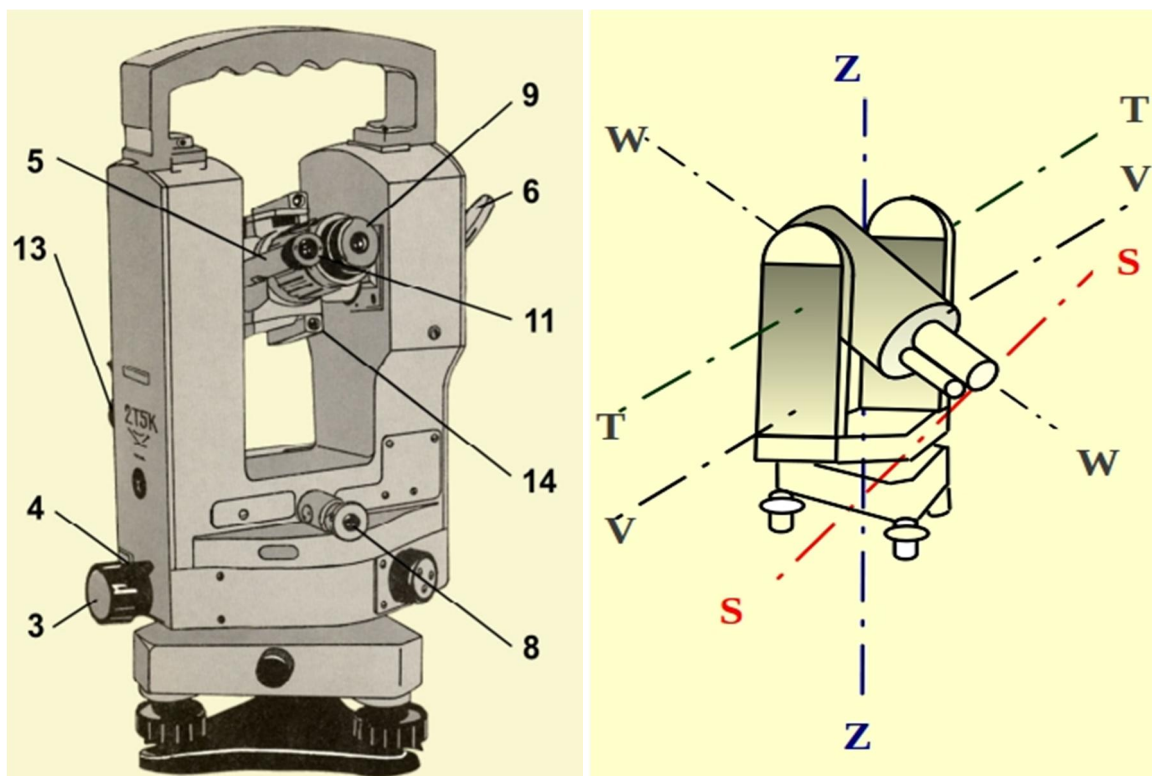
### ***Поверки теодолитов***

Теодолит - это геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных, вертикальных углов и дальномерных расстояний на местности. Взаиморасположение осей теодолита условно показано на рисунке 1.

***Поверка 1. Поверка цилиндрического уровня. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга (ГУК) должна быть перпендикулярна к оси вращения прибора (рис. 1), т.е. параллельна плоскости лимба ГУК и контролирует его горизонтальность.  $VV \perp ZZ$  [1].***

Для проведения поверки, прежде всего, цилиндрический уровень устанавливаем параллельно каким-либо двум подъемным винтам и, вращая их в разные стороны, пузырек уровня приводят в нуль-пункт (рис 2а). Затем, теодолит поворачивают на 90 градусов, и третьим подъемным винтом пузырек уровня устанавливают в нуль-пункт (рис 2б). Далее, теодолит поворачивают, возвращая в первоначальное положение и, если

требуется, пузырек уровня приводят в нуль-пункт (подправляют его положение) вращением двух подъемных винтов.



*Рис. 1. Взаиморасположение осей теодолита: Z-Z – вертикальная ось вращения прибора; T-T – ось вращения зрительной трубы; V-V – ось цилиндрического уровня при горизонтальном круге; W-W – визирная ось трубы; SS – вертикальная нить сетки нитей (Передерин В.М. [1]).*

После этих действий ось вращения теодолита будет предварительно приведена в отвесное положение (плоскость горизонтального круга - в горизонтальное положение). Окончательно ось вращения теодолита может быть приведена в отвесное положение только после выполнения поверки, т.е. после приведения оси цилиндрического уровня в перпендикулярное положение относительно оси вращения теодолита. Для этого теодолит поворачиваем на 180 градусов, если при этом пузырек уровня окажется в нуль-пункте или отклонится от него не более чем на 0,5 деления уровня, то ось уровня перпендикулярна к оси вращения теодолита (условие выполнено).

Если пузырек сместится с нуль-пункта больше чем 0,5 деления, то половину дуги отклонения пузырька от нуль-пункта следует устранить с помощью шпильки, действуя исправительными (юстировочными) винтами при цилиндрическом уровне, а вторую половину с помощью подъемных винтов теодолита, затем повторить проверку. Проверка и юстировка выполняется до тех пор, пока после поворота теодолита на 180 градусов

(рис 2б) пузырек уровня будет отклоняться от нуля-пункта не более чем на 0,5 деления.

После всех этих действий, при повороте теодолита в любое положение, пузырек уровня должен оставаться в нуль-пункте или отклоняться от него не более чем на 0,5 деления уровня, что является гарантией того, что ось уровня приведена в положение, перпендикулярное оси вращения теодолита.

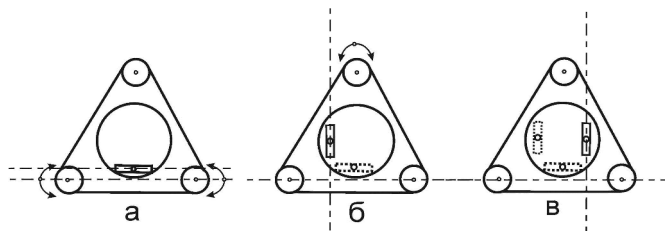


Рис. 2 Проверка цилиндрического уровня (Родионов В.И. [3]).

**Проверка 2. Проверка перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы:** визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы (рис. 1), т.е.  $WW \perp TT$  [1].

Проверка выполняется при двух положениях вертикального круга относительно зрительной трубы «круг право» (КП) и «круг лево» (КЛ).

При проверке данного условия берут отсчеты по лимбу при КП и КЛ, визируя на одну и ту же удаленную точку, расположенную горизонтально, затем открепляют лимб, поворачивают верхнюю часть теодолита примерно на  $180^\circ$ , берут отсчеты  $КП_2$  и  $КЛ_2$  и вычисляют коллимационную ошибку (двойную):

$$2C = \frac{(КП_1 - КЛ_1 \pm 180^\circ) + (КП_2 - КЛ_2 \pm 180^\circ)}{2} \quad (1)$$

Если коллимационная ошибка больше двойной точности отчетного устройства  $c > 2t$ , то производят юстировку [1]. На рис. 3 представлена коллимационная погрешность, возникающая при отсутствии перпендикулярности оси  $WW \perp TT$ .

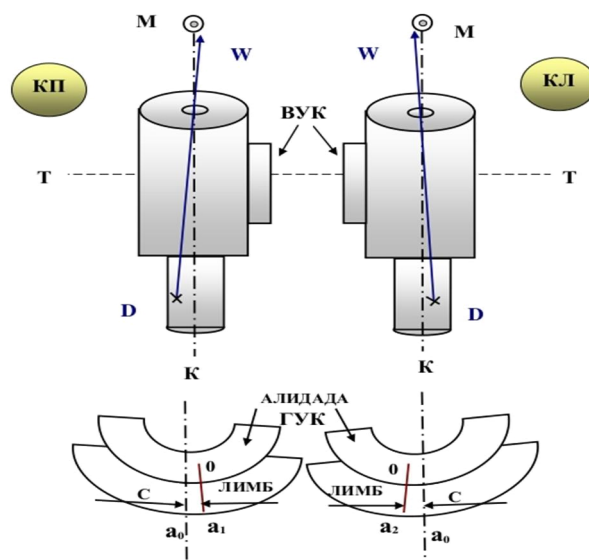


Рис. 3. Коллимационная погрешность визирной трубы теодолита ( $ВВ$  не перпендикулярна к  $ТТ$ ) (Передерин В.М. [1]).

**Поверка 3. Поверка перпендикулярности оси вращения трубы к оси вращения прибора: Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения прибора, т.е.  $ТТ \perp ZZ$ .**

Для проведения поверки теодолит устанавливают в 20-30 м от стены здания, визируют при круге лева (КЛ) на высоко расположенную на стене точку (рис. 4), опускают трубу примерно до горизонтального положения, отмечают на стене точку визирования  $\epsilon_1$ . Затем, переведя трубу через зенит, производят то же при круге право (КП), фиксируют точку  $\epsilon_2$ . Если отношение  $\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{AB_0} \geq \frac{1}{1500}$ , то теодолит ремонтируют в мастерской [1].

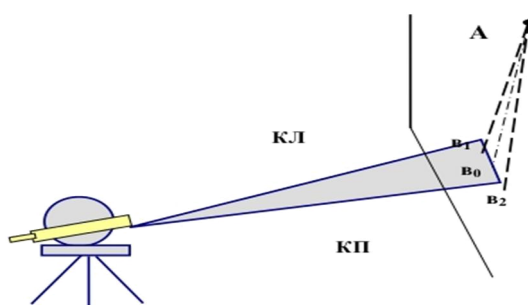


Рис. 4. Поверка перпендикулярности оси вращения трубы к оси вращения прибора (Передерин В.М. [1]).

**Поверка 4. Проверка правильности установки сетки нитей зрительной трубы: вертикальная нить сетки нитей должна быть**

*строго вертикальна и перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы, т. е.  $SS \perp TT$  [1].*

Визируют правый конец (П) сетки нитей на какую-нибудь точку (рис. 5 а), плавно поворачивают микрометричным (наводящим) винтом зрительную трубу слева направо. И если левый конец (Л) сетки сходит с наблюдаемой точки\* - на величину больше толщины штриха сетки нитей, то производят юстировку поворотом сетки нитей.

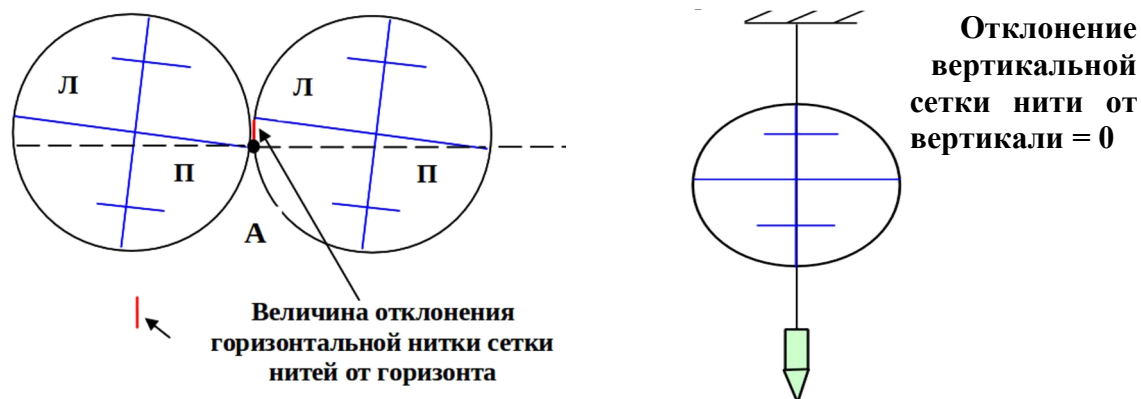


Рис. 5. Проверки правильности установки сетки нитей (Передерин В.М. [1]).

Ту же проверку можно производить (рис. 5 б), наводя вертикальную нить сетки нитей на нитку подвешенного отвеса. Если вертикальная нить сетки нитей совпадает с нитью отвеса, то отклонение от вертикали равно нулю [1].

### **Проверки нивелиров**

Нивели́р (от фр. niveau — уровень, нивелир) — оптико-механический геодезический инструмент для геометрического нивелирования, то есть определения разности высот между несколькими точками [2]. Нивелир работает строго горизонтальным лучом визирования.

***Проверка 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента.***

Проверка и юстировка производятся таким же образом, как цилиндрического уровня при горизонтальном круге теодолита.

***Проверка 2. Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.***

Устанавливают ось вращения нивелира в отвесное положение по круглому уровню, визируют на рейку, находящуюся в 20-30 м от прибора, производят отсчеты по краям горизонтальной нити. Для этого плавно перемещают зрительную трубу наводящим винтом. Условие считают выполненным, если отсчеты отличаются не более чем на 2 мм. Если условие не соблюдено, то поворачивают сетку нитей. Юстировку

рекомендуется осуществлять в мастерской, т.к. доступ к винтам окулярной части затруднен [1].

**Проверка 3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы (главное условие).**

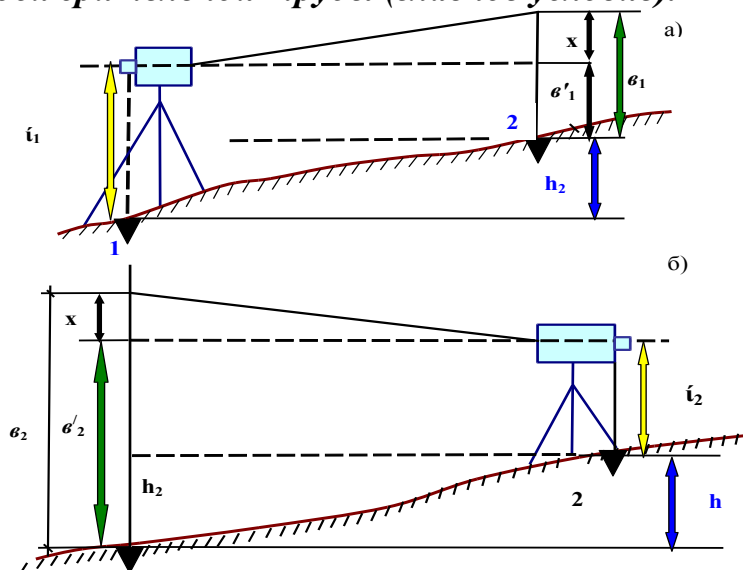


Рис. 6. Проверка визирной оси зрительной трубы (Передерин В.М. [1]).

Проверку можно произвести различными способами. Один из них заключается в том, что на местности на расстоянии примерно 50 м забивают колышки в точках 1 и 2 (рис. 6) и определяют превышение точки 2 – ( $h_2$ ) - дважды.

Первый раз нивелир устанавливают в точке 1, в точке 2 - рейку. Если главное условие не выполняется, т.е. визирная ось не параллельна оси цилиндрического уровня, то вместо правильного отсчёта по рейке  $v'$  будет отсчет  $v'1$ , содержащий некоторую погрешность  $x$  [1]. Действительное превышение будет

$$h_2 = [i_1 - v'1 = i_1 - (v_1 - x)] \quad (2)$$

затем нивелир и рейку меняют местами, и тогда

$$h_2 = v_2 - i_2 = v_2 - x - i_2 \quad (3)$$

следовательно

$$i_1 - (v_1 - x) = (v_2 - x) - i_2 \quad (4)$$

откуда

$$x = \frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (5)$$

Если используемый прибор имеет компенсатор, т.е визирная ось приводится в горизонтальное положение автоматически после предварительного горизонтирования прибора по круглому уровню, то главное условие состоит в том, что ось визирования должна быть горизонтальна [1].



Упрощенный способ поверки главного условия для нивелиров с компенсатором заключается в следующем: берем отсчеты по рейкам при установке нивелира посередине между рейками и в 4-5 м от одной из них. Если разность в полученных значениях превышений не превосходит допустимых величин ( $\pm 4$  мм или  $\pm 10$  мм), то главное условие соблюдено. В необходимом случае исправление производят в мастерской.

Кроме того для нивелиров с компенсатором необходимо производить проверку работоспособности компенсатора [1].

#### **Поверка 4. Компенсатор должен быть исправен.**

Приводят нивелир в рабочее положение, по направлению одного из подъемных винтов устанавливают рейку, берут отсчет. Затем вращением подъемного винта наклоняют трубу на одно деление круглого уровня вверх, берут отсчет, то же самое делают при наклоне трубы вниз. Если отсчеты отличаются один от другого не более чем на 2 мм - юстировка не требуется, в противном случае неисправность компенсатора устраняется в мастерской [1].

Кроме приведенных проверок существует ряд других, обусловленных спецификой (маркой) прибора. Как правило, все необходимые проверки приведены в паспорте или инструкции к прибору, поэтому перед работой следует обязательно ознакомиться с информацией, приведенной в инструкции, паспорте.

## **Глава IV Измерения, проводимые с помощью приборов**

### ***Подготовка прибора к работе***

Перед проведением полевых измерений (работе на станции) необходимо подготовить прибор к работе. Подготовка теодолита к работе заключается в его центрировании, горизонтирование и подготовке зрительной трубы для наблюдений.

**Центрирование** — проецирование центра лимба горизонтального круга по отвесной линии (оси  $ZZ$ ) на вершину измеряемого угла с точностью  $\pm 5$  мм для механического отвеса,  $\pm 1-2$  мм для оптического отвеса.

**Горизонтирование** – установка плоскости лимба горизонтального круга в строго горизонтальное положение, а вертикальной оси вращения прибора в отвесное положение, с помощью уровней.

Следует помнить, что в случае применения теодолита с оптическим центриром, при проведении горизонтирования, как правило, сбивается центрирование, а при центрировании – горизонтирование, поэтому необходимо контролировать установку прибора, перепроверяя центрирование и горизонтирование.

### Подготовка зрительной трубы:

1. установка трубы «по глазу» - необходимо вращением окулярной трубки добиться четкого изображения сетки нитей, при этом объект визирования может быть плохо виден или не виден.
2. установка трубы «по предмету» - необходимо вращением винта кремальеры (фокусирующего винта) добиться четкого изображения наблюдаемого предмета.

После проведения вышеописанных операций плоскость изображения предмета должна совпадать с плоскостью сетки нитей. Несовпадение изображения предмета с плоскостью сетки нитей называют параллаксом, его устраняют более точной установкой «по глазу» и «по предмету».

### Измерение горизонтальных углов

Для измерения горизонтальных углов в геодезии применяют способы приемов, круговых приемов и способ повторений.

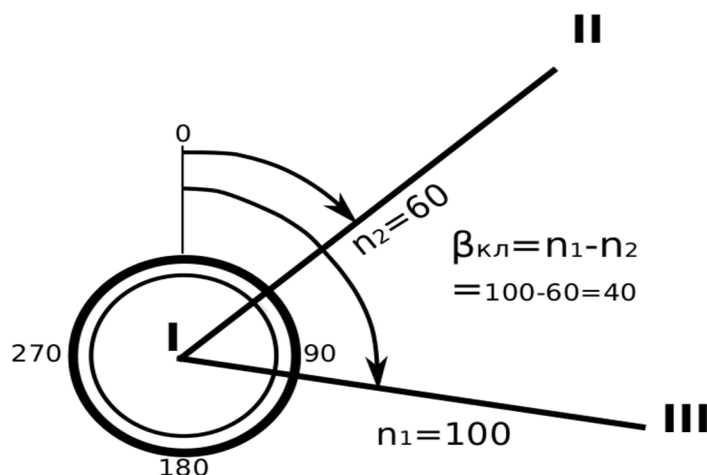


Рис. 7. Измерение горизонтального угла способом приемов

**Способ приемов** (способ отдельного угла). Измерение горизонтального угла способом приемов заключается в том, что один и тот же угол измеряется дважды, при двух положениях вертикального круга относительно зрительной трубы: при круге слева (КЛ) и при круге справа (КП). При переходе от одного приема ко второму зрительную трубу переводят через зенит и смещают лимб горизонтального круга на  $1 \dots 5^\circ$ . Эти действия позволяют обнаружить возможные грубые ошибки при отсчетах на лимбе и уменьшить приборные погрешности.

Измерение отдельного угла складывается из следующих действий (рис. 7):

1. Над вершиной I измеряемого угла  $\beta_{л} = \text{II-I-III}$  центрируют и горизонтируют теодолит, а на точках I и II устанавливают визирные цели (рейки, вехи).

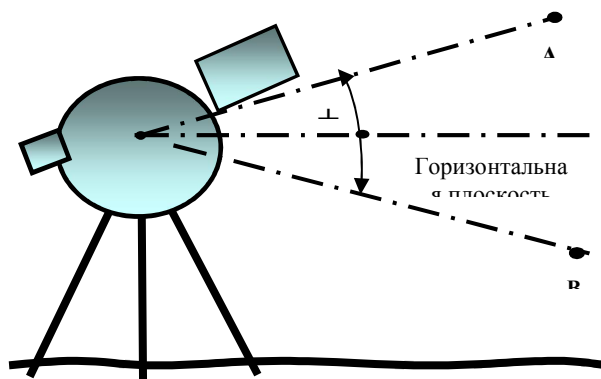
2. При круге лево (КЛ) визируют на цель III и по горизонтальному кругу берут отчет  $n_1$ .
3. При круге лево (КЛ), поворачивают алидаду и визируют на цель II, по горизонтальному угломерному кругу берут отчет  $n_2$ .
4. Производят вычисление угла при круге лево (КЛ):  $\beta_{КЛ} = n_1 - n_2$ .
5. Переводят трубу через зенит, смещают лимб и повторяют измерения при круге право (КП)
6. Производят вычисление угла при круге право (КП):  $\beta_{КП} = n_1 - n_2$ .

Контролем измерений горизонтального угла является разность полученных значений при круге «лево» и круге «право», не превышающая двойную точность отсчетного устройства, т.е.  $|\beta_{КЛ} - \beta_{КП}| < 2*t$ , где  $t$  - точность теодолита. Если разность значений  $\beta_{л} - \beta_{п}$  больше двойной точности прибора, то необходимо повторно произвести измерения. Если  $|\beta_{КЛ} - \beta_{КП}| < 2*t$ , то вычисляют средний:

$$\beta_{ср} = 0.5 * (\beta_{КЛ} + \beta_{КП}) \quad (6)$$

### *Измерение вертикальных углов*

Для измерения вертикальных углов (углов наклона) в конструкции теодолита имеется вертикальный угломерный круг, который состоит из лимба и алидады. Лимб жестко соединен со зрительной трубой и вращается вместе с ней.



*Рис. 8. Измерение вертикального угла (Передерин В.М. [1]).*

Алидада зафиксирована неподвижно и ее линия  $0 - 180^\circ$  должна совпадать с горизонтом. На практике линия алидады  $0 - 180^\circ$  может не совпадать с линией истинного горизонта и составлять с ней некоторый угол, который называется «место нуля» (МО). Поэтому для исключения ошибки при измерении вертикального угла определяют место нуля. Для чего визируют на одну и ту же точку при круге лево (КЛ) и круге право (КП). Место нуля определяется по формуле:

$$MO = \frac{КП + КЛ}{2} \quad (7)$$

Определение угла наклона производится с учетом места нуля и для теодолита 2Т30 высчитывается по следующим формулам:

$$v = MO - КП, \quad v = КЛ - MO, \quad (8;9)$$

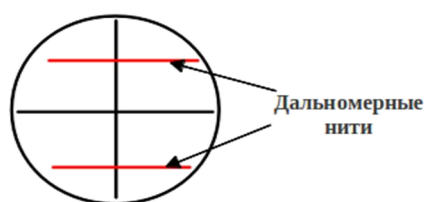
Следует отметить, что оцифровка лимба вертикального круга у различных марок теодолитов может быть различной, в связи с этим формулы для расчета места нуля могут отличаться от приведенных выше. Для правильного выбора формул следует изучить инструкцию или паспорт прибора, где указываются формулы определения места нуля для используемого прибора.

При прокладке теодолитного хода прибор устанавливают на каждой станции и производят измерение вертикального угла в прямом и обратном направлениях с учетом предварительно вычисленного места нуля (МО).

Для измерения вертикального угла прибор устанавливают на станции (центрируют, горизонтируют) измеряют высоту инструмента ( $i$ ) и отмечают ее на рейке. Рейку устанавливают вертикально сначала на предыдущей, затем на последующей точках хода. Визирование производят на высоту инструмента ( $i$ ) отмеченную на рейке, и снимают отчеты по вертикальному кругу. Вертикальный угол высчитывают по формулам. Следует помнить, что вертикальные углы измеряют в прямом и обратном направлении и их значения не должны по модулю превышать двойной точности прибора ( $2t$ ).

### ***Измерение дальномерного расстояния с помощью нитяного дальномера***

Зрительные трубы геодезических приборов позволяют измерять расстояния по нитяному дальномеру. Для этого в зрительной трубе имеется сетка нитей, на которой расположены дальномерные нити (рис 9).



*Рис. 9. Сетка нитей, дальномерный нити (Передерин В.М. [1]).*

Для того, чтобы измерить длину стороны хода нужно:

1. установить прибор на станции (центрировать, горизонтировать), измерить высоту инструмента;
2. отметить высоту инструмента на рейке;
3. установить рейку на предыдущую или последующую точку хода.
4. произвести визирование средней нитью сетки нитей на рейку на отметку высоты инструмента;

5. взять отчёты по верхней и нижней дальномерным нитям;
6. вычесть из значения соответствующего верхнему дальномерному штриху, значение нижнего дальномерного штриха;
7. перевести значение из миллиметров в сантиметры. Так как коэффициент дальномера 100, то количество сантиметров будет равно количеству метров от прибора до рейки;
8. повторить действия 2-5 при КП;
9. найти среднее арифметическое между этими измерениями.

## Глава V Тахеометрическая съемка

**Тахеометрия** - означает скороизмерение (быстрая съемка). Эта съемка обеспечивает получение топографического плана в короткие сроки с точностью, которая оказывается достаточной при решении многих геологических и инженерно-строительных задач.

Быстрота съёмки обеспечивается тем, что все измерения производятся одним прибором – тахеометром, в результате одного визирования на снимаемую точку получают все необходимые данные для определения планового положения точки и ее высотной отметки [5, 8].

**Тахеометрическая съемка проводится в 4 этапа:**

### **1. Рекогносцировка.**

Основные задачи:

- 1) ознакомиться с реальной ситуацией на местности для съемки;
- 2) выбрать точки съёмочной сети и закрепить их на местности.

### **2. Измерения по созданию съёмочной сети прокладкой тахеометрического или планово-высотного хода.**

### **3. Съемка объектов ситуации и рельефа.**

### **4. Камеральная обработка результатов полевых измерений и построение топографического плана.**

#### *1. Рекогносцировка*

На учебном полигоне руководитель практики определяет для каждой бригады границы участка, на котором необходимо произвести топографическую съемку, а также исходные пункты с известными координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $H$ . Обучающиеся подробно изучают участок, выделенный для проведения работ. Знакомятся с реальной ситуацией на местности, изучают рельеф местности (выделяют элементарные формы рельефа, отмечают их характерные линии и точки, фиксирует наложение мелких форм рельефа на крупные). На основе изучения участка определяют на местности благоприятные места для закрепления вершин теодолитного (тахеометрического) хода.

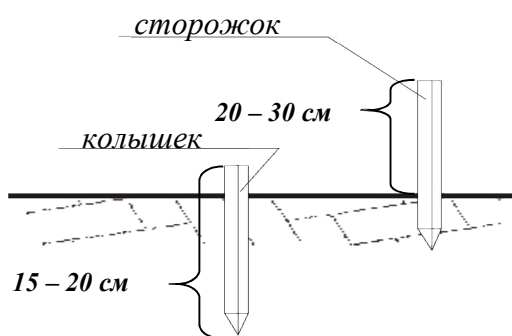
Выбор пунктов съёмочной сети осуществляется с учетом таких условий как:

- взаимная видимость между предыдущем и последующим пунктом;
- возможность охвата всего выделенного участка без пропусков с закрепленных пунктов съёмочной сети
- хороший обзор местности с каждой точки съёмочной основы, позволяющий производить топографическую съемку;
- удобство установки штатива;

- удобство проведения угловых и линейных измерений и др.;
- Расстояние между соседними пунктами должно быть не более 150

м.

Закрепление на местности пунктов производится предварительно заготовленными деревянными колышками и сторожками диаметром 2 – 4 см (рис. 10). Колышек вбивают вровень с землей, оставляя не более 1 – 2 см над поверхностью. В центре колышка забивают маленький гвоздик, над которым в дальнейшем будет центрироваться теодолит. Колышек будет являться носителем координат и высоты. Он в процессе всей практики должен оставаться жестко зафиксированным. Если во время практики колышек изменит свое положение, то необходимо будет его закрепить заново и определить его координаты и высоту.



*Рис. 10. Закрепление на местности пунктов тахеометрического хода*

Сторожок служит для удобства отыскания пункта. Его должно быть хорошо видно на местности. На сторожке делают срез, на котором записывают номер бригады и номер пункта.

Закрепленные на местности пункты съемочной сети образуют съемочную сеть, которая может быть трех видов:

1. Замкнутая сеть (рис. 14), при необходимости с диагональным ходом (съемку ведем по часовой стрелке, измеряем правые по ходу углы).
2. Разомкнутая сеть (рис. 13), опирающаяся на две пары реперов, (дирекционный угол, вычисляем, либо задаем).
3. Висячий ход. Привязка осуществляется только к одной паре реперов.

В основном студенты создают замкнутую съемочную сеть, иногда с диагональным ходом.

## **2. Измерения по созданию съемочной сети прокладкой тахеометрического планово-высотного хода**

После закрепления пунктов съемочной сети на местности производят измерения, т.е. измеряют расстояния между пунктами, горизонтальные и вертикальные углы.

### **Работа на станции при прокладке тахеометрического хода**

1. Устанавливаем штатив над вершиной измеряемого угла, с помощью механического отвеса контролируем точность установки штатива над точкой. Столик штатива необходимо привести в горизонтальное положение, иначе, при установке прибора на столик, может не хватить хода подъемных винтов для горизонтирования прибора.

2. Подготавливаем прибор к работе (устанавливаем его на столик штатива, горизонтируем, центрируем, подготавливаем зрительную трубу к проведению измерений).

3. Визируем на заднюю рейку (правую сторону), при круге лево (КЛ). (Для повышения точности измерения горизонтального угла, первое визирование производим на основании рейки).

2. Визируем на высоту инструмента. Фиксируем значение вертикального угла  $V_{I-XII}$  и дальномерного расстояния  $D_{I-XII}$ .

3. Визируем на переднюю рейку (левую сторону), берем отсчет  $n_1$

4. Визируем на высоту инструмента, берем отсчет  $V_{I-II}$  и  $D_{I-II}$

5. Производим вычисления горизонтального угла  $\beta_{KL}$

Переводим трубу через зенит, открепляем алидаду (лимб не трогаем до конца измерений) и проводим измерения при круге право (КП).

1. Визируем на основание задней рейки.

2. Визируем на высоту инструмента  $V_{I-XII}$  и  $D_{I-XII}$

3. Визируем на основание передней рейки (левую сторону), берем отсчет  $n_2$

4. Визируем на высоту инструмента, берем отсчет  $V_{I-II}$  и  $D_{I-II}$ .

5. Производим вычисления горизонтального угла  $\beta_{KP}$

Не смещаясь, подсчитываем:  $\Delta\beta < 2t$  (двойной точности прибора);  
 $\Delta D < 1/400$  если использовался теодолит при проведении измерений;

$$\Delta V = V_{KL} - V_{KP} < 2t \quad (10)$$



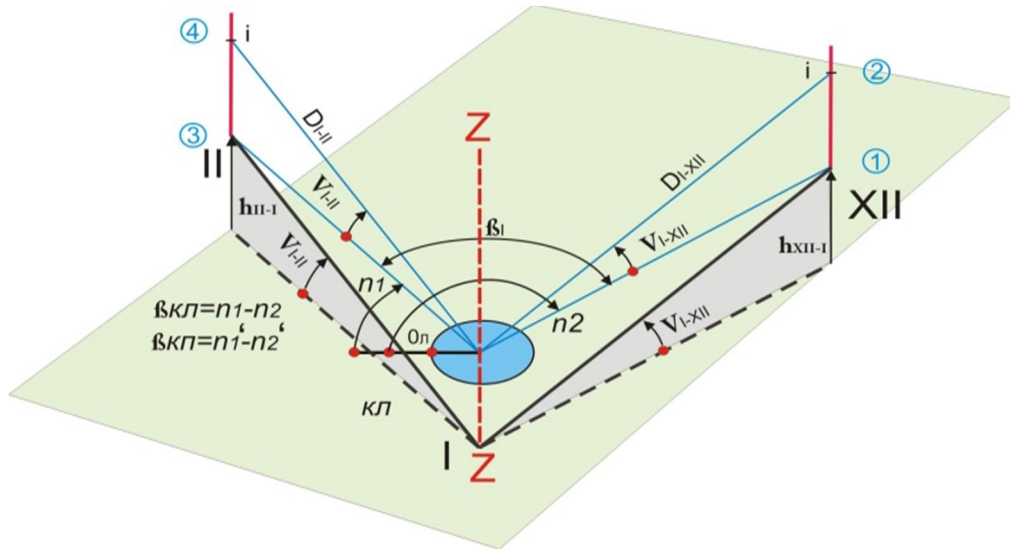


Рис. 12 Последовательность работы на станции при прокладке тахеометрического хода

Результаты измерений заносятся в полевой журнал. После того как закончены измерения по созданию съемочной сети, заполняется **ведомость вычисления координат** (методика заполнения приведена в главе камеральная обработка).

Для получения координат и дирекционных углов необходимо произвести привязку тахеометрического хода к пункту государственной геодезической сети.

### ***Привязка тахеометрического хода к пункту местной или государственной геодезической сети***

Связь теодолитных (тахеометрических) ходов с пунктами более высокого класса называют **привязкой**. Привязка производится для передачи плановых и высотных координат с пункта ГГС на пункты съемочной сети.

В условиях учебной геодезической практики не всегда имеется возможность осуществить привязку хода к пунктам ГГС. Поэтому руководитель определяет точку, как исходный пункт с известными координатами.

Если разомкнутый ход, проложенный между двумя пунктами А и С необходимо привязать к исходному пункту А (для контроля к конечному пункту С), то для этого в начальной точке А измеряют углы  $\varphi_A$  и  $\varphi'_A$ , а в конечной С — углы  $\varphi_C$  и  $\varphi'_C$ , называемые *примычными*. Зная дирекционный угол исходной стороны ВА, по примычным углам  $\varphi_A$  и  $\varphi'_A$  дважды вычисляют дирекционный угол стороны АЕ: по углу  $\varphi_A$  и для контроля  $\varphi'_A$ . Имея координаты исходного пункта А и измеренные углы и длины сторон полигона, вычисляют координаты всех точек теодолитного хода. Наличие в конце хода твердого пункта С позволяет

проконтролировать правильность полученных результатов вычисленных координат.

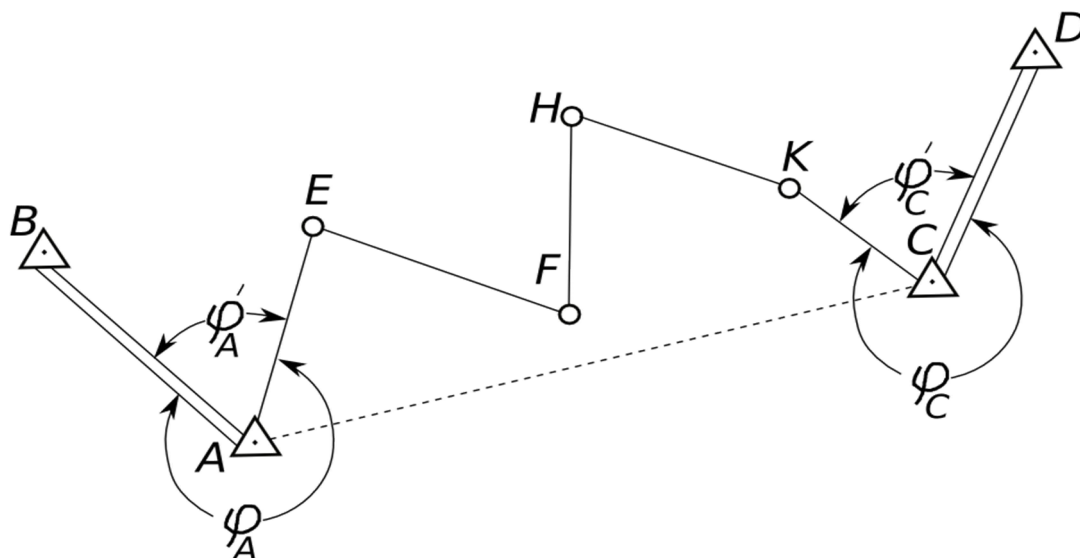


Рис. 13 Привязка разомкнутого хода к пунктам ГГС

Если замкнутый теодолитный ход непосредственно примыкает к исходному пункту А (рис. 14), то измеряют правый и левый примычные углы  $\varphi_A$  и  $\varphi'_A$ . Сумма примычных углов должна удовлетворять условию:

$$(\varphi_A + \varphi'_A) - 360^\circ < \pm 45'' \quad (11)$$

при измерении углов 30" теодолитом.

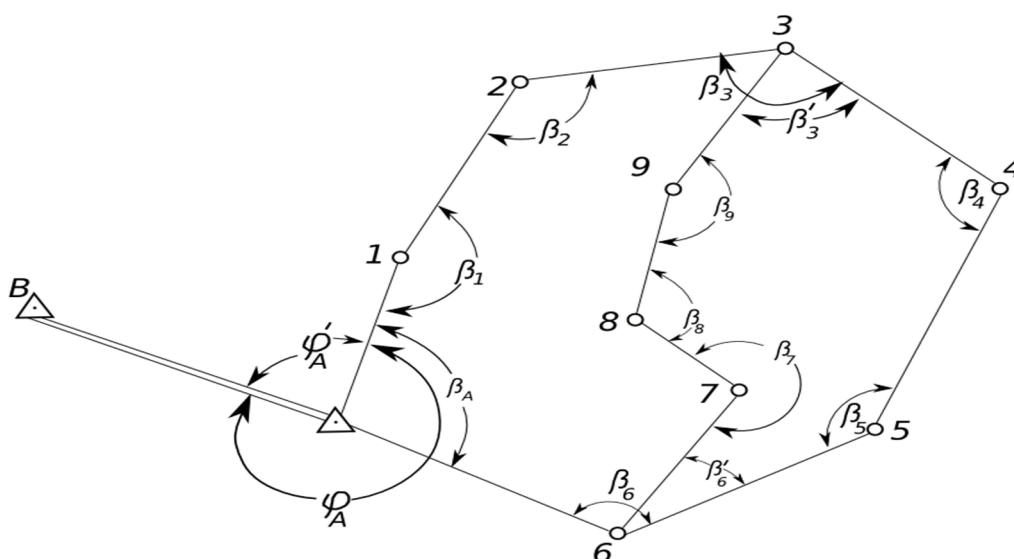


Рис. 14 Привязка замкнутого хода к пунктам ГГС

Если теодолитный ход непосредственно не примыкает к пункту Государственной геодезической опорной сети, привязку осуществляют специальным теодолитным ходом, проложенным от исходного пункта до ближайшей точки полигона. Результаты привязки заносят в абрис съемки.

Таким образом при построении (теодолитного) тахеометрического хода студентам задаются координаты репера ( $X$ ,  $Y$ ,  $H_{abc}$ ). Координаты остальных вершин хода вычисляются по результатам измерений на местности (горизонтальные, вертикальные углы, дальномерные расстояния) и расчетам (горизонтальных проложений, превышений).

Так, если известны координаты точки  $X_A$ ,  $Y_A$ , горизонтальное проложение от этой точки до другой  $d_{AB}$  и направление линий  $AB$ , заданное дирекционным углом  $\alpha_{AB}$ , то координаты другой точки определяются по формулам:

$$X_B = X_A + d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} \quad (12)$$

$$Y_B = Y_A + d_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} \quad (13)$$

где,  $d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} = \Delta X_{AB}$  и  $d_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} = \Delta Y_{AB}$  являются проекциями линий  $AB$  на оси координат и называются приращениями координат. Таким образом,

$$X_B = X_A + \Delta X_{AB} \quad (14)$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB} \quad (15)$$

### ***3. Съемка ситуации и рельефа***

Съемка объектов может производиться различными способами: прямоугольных координат, полярных координат, угловых засечек, линейных засечек. Тахеометрическая съемка, в большей части, проводится способом полярных координат, когда при одном визировании на высоту инструмента измеряется дальномерное расстояние, горизонтальный и вертикальный углы, что в итоге позволяет рассчитать положение точки в плане и по высоте. При необходимости, возможно использование способа угловой засечки.

Перед проведением съемки ситуации и рельефа необходимо **составить абрис** (внемасштабный схематический рисунок местности) на котором отмечают: станция, с которой производится съемка, предыдущая и последующая станции, фиксируются объекты (здания, сооружения, и др), отрисовывается рельеф (стрелками, либо с помощью горизонталей).

В зависимости от сложности ситуации, характера и высоты сечения рельефа, а также масштаба планируемой съемки на абрисе намечают

оптимальное количество речных точек. Так, например, необходимо произвести съемку ситуации и рельефа представленного на рисунке 15. Речные точки для фиксации ситуации показаны на рисунке 15б (озеро, дороги, границы сельхоз угодий и др). Речные точки для съемки рельефа показаны на рисунке 15а. Выделяют холмы, фиксируют вершины и подошвы, относительно вершин стрелками показывают направление склонов или скатов, фиксируются на абрисе долины, седловины, лоцины и др. Стрелки указывающие направления понижения рельефа, будут направлением интерполяции при построении горизонталей рельефа.

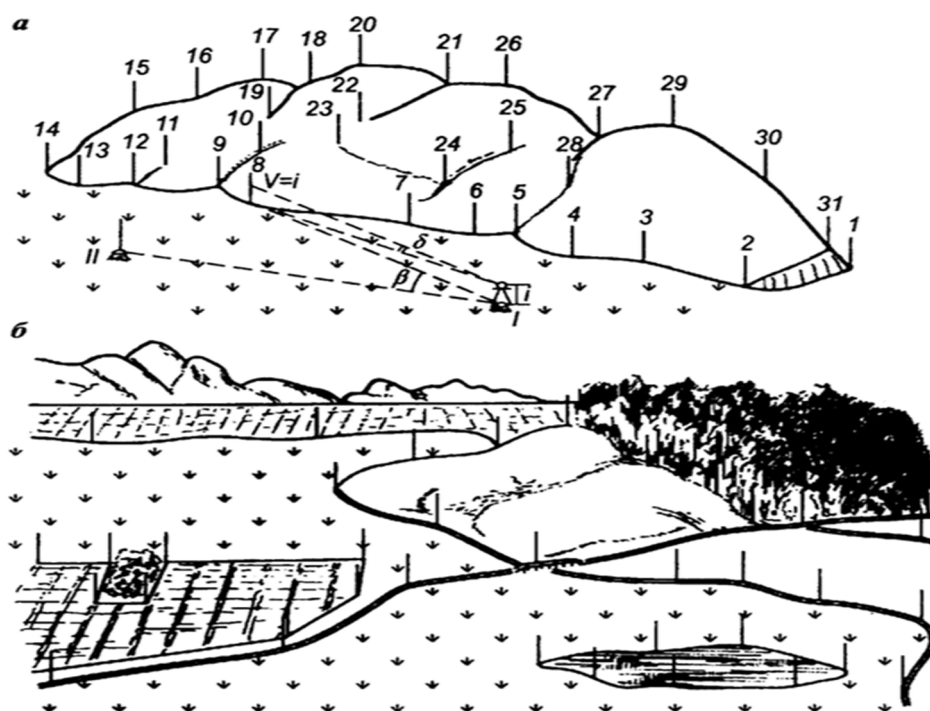


Рис. 15 Речные точки: а- высотные, б-контурные (lib.znate.ru [10])

После того, как выбраны речные точки на местности и занесены в абрис, приступаем к съемке.

### **Последовательность работы на станции при проведении тахеометрической съемки**

1. Устанавливаем штатив над вершиной измеряемого угла. Столик штатива необходимо привести в горизонтальное положение, иначе, при установке прибора на столик, может не хватить хода подъемных винтов для горизонтирования прибора.

2. Подготавливаем прибор к работе: устанавливаем его на столик штатива, горизонтируем, центрируем по механическому отвесу, затем по оптическому центру, если прибор снабжен им.
3. Подготавливаем зрительную трубу к проведению измерений (наводка по глазу, наводка по предмету).
4. Совмещаем ноль лимба и алидады по линии I-II. Для этого на вторую точку ставим вешку или рейку.
5. Измеряем высоту инструмента и откладываем ее на двух рейках. Сторона I-II – это полярная ось. Точка, где стоит прибор – полюс. Фиксация точек в пространстве проводится визированием на высоту инструмента, это значит средняя нитка сетки нитей спроецирована на высоту инструмента. Берем отсчет по дальномерным нитям.
6. Далее смотрим в отчетный микроскоп и берем значения полярного угла  $V_{I-1}$ .
7. Проводим измерения вертикального угла.
8. Записываем все измерения в полевой журнал
9. Убедившись, что ориентировка лимба не изменилась, переходим на следующую станцию.

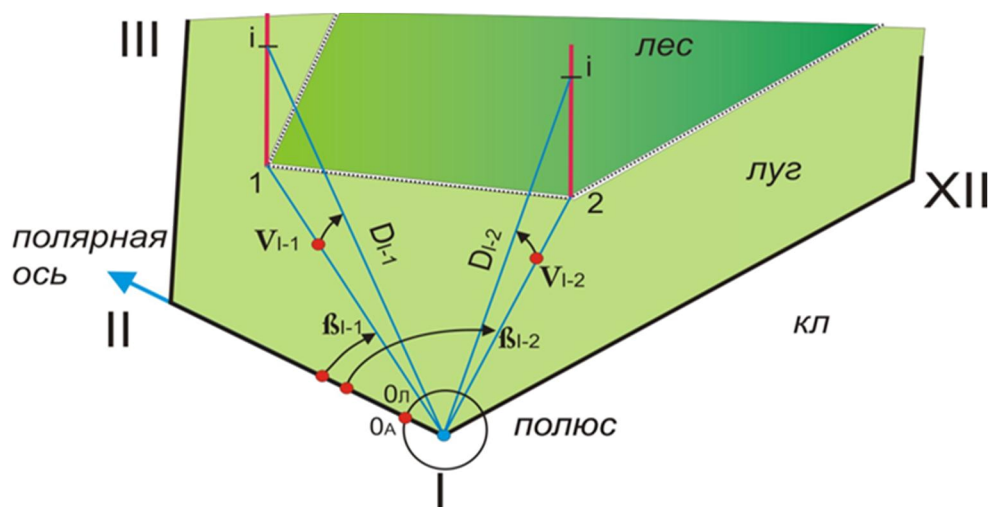


Рис. 16 Последовательность работы на станции при проведении тахеометрической съемки

Если при проверке ориентирования, ноль лимба сбился более чем на 3-10 минут, то восстанавливаем ориентировку, и далее проверяем каждую десятую точку, измеряя горизонтальный угол. Если ошибка произошла на 80 точке, то проверяем 79,78,77,76... пока не найдем, где сбился ноль лимба.

При проведении съемки ситуации и рельефа данные заносятся в ведомости, а затем обрабатываются вручную или с помощью специализированных программ.

#### ***4. Камеральная обработка***

Камеральная обработка геодезических данных заключается в математической обработке полученных полевых измерений.

Перед проведением камеральных работ руководитель практики проверяет заполнение полевых журналов. Записи в полевых журналах проводятся простым карандашом. Ошибочная запись зачеркивается, правильное значение подписывается сверху. На полях делается выноска о верности исправлений и подпись исправителя.

#### ***Обработка полученных полевых данных***

В целях исключения ошибок вычисления ведутся в две руки, т.е. двумя вычислителями независимо.

##### **Работа состоит из следующих этапов:**

1. Заполняется «Полевой журнал измерений углов и линий тахеометрического хода» (табл 2).
2. Заполняется «Ведомость вычисления координат тахеометрического хода» (табл.3);
3. Заполняется «ведомость высот станций тахеометрического хода» (табл.5);
4. Обрабатывается и заполняется «журнал тахеометрической съемки» (табл.6);
5. Построение топографического плана в соответствии с принятыми условными знаками.

***Порядок заполнения полевого журнала измерений углов и длин линий тахеометрического хода***

В столбце 1 указываются станции, с которых производится визирование.

В столбце 2 указываются точки, на которые производится визирование.

В столбце 3 в миллиметрах указываются значения по дальномерным нитям

В столбце 4 рассчитываются дальномерные расстояния, м.

В столбце 5 по формулам рассчитываются горизонтальные проложения сторон

$$d = D \cdot \cos^2(\nu) \quad (16)$$

В столбец 6 записываются отсчеты по горизонтальному угломерному кругу при круге лево (КЛ) и круге право (КП), при визировании на предыдущую и последующие станции.

Столбец 7 рассчитывается горизонтальный угол.

Столбец 8 заполняется тогда, когда выполняется условие  $\beta_{кл} - \beta_{кп} \leq 2t$ , (если условие не соблюдается, то необходимо перемерить угол),

$$\beta_{ср} = (\beta_{кл} - \beta_{кп}) / 2 \quad (17)$$

Столбец 9 записывается отчет по вертикальному кругу при (КЛ) и (КП)

Столбец 10 заносится значение места нуля (МО) прибора.

Столбец 11 рассчитывается угол наклона с учетом места нуля (МО)

В столбце 12 рассчитываются превышения станции на которой установлен прибор, над точкой на которой установлена рейка.

Таблица 2

## Полевой журнал измерений углов и линий тахеометрического хода

№ станции	набл. точки	отчет по рейке (мм)		дальном ерные расстояния D (м)	горизонтальны е проложения $d=D\cos^2v$ (м)	отчет по гориз. кругу	горизонтальны й угол В	средний угол $B_{cp}$	отчет по ВУК на высоту инструмента i	Место нуля МО	угол наклона $V=KП-(+/-МО), V=МО-KП$	$h=d \operatorname{tg} v$ (м)
		$n_n$	$n_b$									
I, i=1405	VII КП	1562	1250	31,2	31,25	КП 6°13'	B = 115°25,5'	115°27,5'	VI-VII= -0°04,5'	0°0'45"	VI-VII= -0°05,25'	-0,05
	II КП	1510	1297	21,3		КП 250°47,5'			VI-II= 0°41'			
	VII КП	1560	1247	31,3	21,3	КП 186°14,5'	B' = 115°29,5'		VI-VII= 0°06'	0°0'30"	VI-II= 0°40,5'	0,25
	II КП	1513	1300	21,3		КП 70°45'			VI-II= -0°40'			
II, i=1442	I КП	1549	1332	21,7	21,6	КП 143°50'	B = 118°11,5'	118°08,75'	VII-I= -0°43,5'	0°0'45"	VII-I= -0°44,25'	-0,28
	III КП	1580	1305	27,5		КП 25°38,5'			VII-III= -2°50'			
	I КП	1550	1335	21,5	27,55	КП 323°44,5'	B' = 118°06'		VII-I= 0°45'	0°	VII-III= -2°50'	-1,36
	III КП	1580	1304	27,6		КП 205°38,5'			VII-III= 2°50'			
III, i=1482	II КП	1620	1334	28,6	28,05	КП 155°32,5'	B = 146°57'	146°54,25'	VIII-II= -2°51,5'	0°0'45"	VIII-II= -2°52,25'	-1,41
	IV КП	1625	1347	27,8		КП 8°35,5'			VIII-IV= 0°50,5'			
	II КП	1620	1345	27,5	27,9	КП 335°27,5'	B' = 146°51,5'		VIII-II= 2°53'	0°0'30"	VIII-IV= 0°50'	0,4
	IV КП	1625	1345	28,0		КП 188°36'			VIII-IV= -0°49,5'			
IV, i=1444	III КП	1582	1305	27,7	27,75	КП 172°15'	B = 143°17,5'	143°14,5'	VIV-III= -0°50,5'	0°0'15"	VIV-III= -0°50,75'	-0,41
	V КП	1589	1301	28,8		КП 28°57,5'			VIV-V= -1°20'			
	III КП	1581	1303	27,8	28,75	КП 352°09,5'	B' = 143°11,5'		VIV-III= 0°51'	0°	VIV-V= -1°20'	-0,67
	V КП	1590	1303	28,7		КП 208°58'			VIV-V= 1°20'			
V, i=1522	IV КП	1661	1375	28,6	28,55	КП 111°40'	B = 97°34,5'	97°33'	VV-IV= 1°05'	0°0'30"	VV-IV= 1°04,5'	0,54
	VI КП	1651	1390	26,1		КП 14°05,5'			VV-VI= -1°31'			
	IV КП	1696	1411	28,5	26,05	КП 291°36'	B' = 97°31,5'		VV-IV= -1°04'	0°0'15"	VV-VI= -1°31,25'	-0,69
	VI КП	1650	1390	26,0		КП 194°04,5'			VV-VI= 1°31,5'			
VI, i=1443	V КП	1578	1315	26,3	26,55	КП 333°40'	B = 133°24'	133°26,5'	VVI-V= 1°31'	0°0'30"	VVI-V= 1°30,5'	0,69
	VII КП	1600	1290	31,0		КП 200°16'			VVI-VII= -1°24'			
	V КП	1579	1315	26,4	31,0	КП 153°41'	B' = 133°29'		VVI-V= -1°30'	0°0'45"	VVI-VII= -1°24,75'	-0,76
	VII КП	1600	1290	31,0		КП 20°12'			VVI-VII= 1°25,5'			
VII, i=1455	VI КП	1610	1300	31,0	31,0	КП 198°40'	B = 145°18'	145°15,75'	VVII-VI= 1°26'	0°0'45"	VVII-VI= 1°25,25'	0,77
	I КП	1605	1290	31,5		КП 53°22'			VVII-I= 0°04,5'			
	VI КП	1610	1300	31,0	31,5	КП 335°55'	B' = 145°13,5'		VVII-VI= -1°24,5'	0°1'	VVII-I= 0°03,5'	0,03
	I КП	1605	1290	31,5		КП 190°41,5'			VVII-I= -0°02,5'			



Таблица 3

Ведомость вычисления координат точек тахеометрического хода

точки съёмоч-й сети	измеренные углы (средн.)	углы исправлен.	дирекционные углы	румбы и их названия	гориз. Пролож. линий d(м)	приращения к-т и поправки(м)				исправл. приращения (м)				координаты (м)	
						знак	Δx	знак	Δy	знак	Δx	знак	Δy	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
I	115°28'	115°27,86'	40°33,97'	СВ 40°33,97'	31,375	+	23,834	+	20,404	+	23,781	+	20,424	800,250	200,750
II	118°9'	118°8,61'	105°06,11'	ЮВ 74°53,89'	21,450	-	5,588	+	20,709	-	5,625	+	20,723	794,625	221,473
III	146°54,5'	146°54,36'	166°57,5'	ЮВ 13°02,5'	27,480	-	26,771	+	6,201	-	26,818	+	6,219	767,807	227,692
IV	143°14,5'	143°14,36'	200°03,14'	ЮЗ 20°03,14'	27,815	-	26,129	-	9,537	-	26,176	-	9,519	741,631	218,173
V	97°33'	97°32,86'	236°48,78'	ЮЗ 56°48,78'	28,635	-	15,674	-	23,964	-	15,723	-	23,945	725,908	194,228
VI	133°26,5'	133°26,35'	319°15,92'	СЗ 40°44,08'	26,180	+	19,837	-	17,084	+	19,793	-	17,067	745,701	177,161
VII	145°16'	145°15,6'	5°49,57'	СВ 5°49,57'	30,980	+	30,820	+	3,145	+	30,768	+	3,165	776,469	180,326
$\sum_{i=1}^n \beta_{изм} =$						ΣΔx =		ΣΔy =		ΣΔx <sub>испр</sub> =		ΣΔy <sub>испр</sub> =			
невязка приращений						ΣΔx <sub>теор</sub> =		ΣΔy <sub>теор</sub> =		Контроль				ΣΔx <sub>теор</sub> = X <sub>конечн.</sub> - X <sub>начал.</sub>	
$\sum_{i=1}^n \beta_{теор} = 180^\circ(n-2) =$						$f_x = \sum \Delta x_{выч} - \sum \Delta x_{теор} =$				Длина хода P =		Σδx <sub>испр</sub> = Σδx <sub>теор</sub>		ΣΔy <sub>теор</sub> = Y <sub>конечн.</sub> - Y <sub>начал.</sub>	
$f\beta = \sum_{i=1}^n \beta_{изм} - \sum_{i=1}^n \beta_{теор} =$						$f_y = \sum \Delta y_{выч} - \sum \Delta y_{теор} =$				$\delta_{\Delta X_{1-2}} = \frac{-f_x}{P} d_1 =$		Σ δΔy =			
$f\beta_{доп} = 1,5t * \sqrt{n}$						Абсолютная невязка хода				$\delta_{\Delta y_{1-2}} = \frac{-f_y}{P} d_1 =$		Σ δΔx =			
$\delta\beta = \frac{\pm f\beta}{n} =$						$f_{абс.} = \pm \sqrt{f\Delta X^2 + f\Delta Y^2} =$				$f_{отн}^{выч} = \frac{1}{P \cdot f_{абс.}} =$		$f_{отн}^{доп} = \frac{1}{300}$		Вывод:	

### Порядок заполнения ведомости вычисления координат точек тахеометрического хода

Заполненная ведомость вычисления координат точек тахеометрического хода приведена в таблице 3

- I. В столбец 2 переносим средние углы из «Полевого журнала...»
- II. Подсчитываем сумму измеренных углов  $\sum \beta_{изм.} =$
- III. Теоретическая сумма замкнутого полигона рассчитывается по формуле

$$\sum \beta_{теор.} = 180^\circ(n-2), \quad (18)$$

где n – количество углов в замкнутом полигоне (в нашем случае n=7).

#### IV. Увязываем углы в полигоне

- Рассчитываем угловую невязку (погрешность) замкнутого теодолитного хода по формуле:

$$f_\beta = \sum \beta_{изм.} - \sum \beta_{теор.}, \quad (19)$$

где  $\sum \beta_{изм.}$  - сумма внутренних измеренных углов;  $\sum \beta_{теор.}$  - теоретическая сумма измеренных углов.

- Вычисляем допустимую угловую невязку:

$$f_{\beta доп.} = 2t' \sqrt{n}, \quad (20)$$

где n – количество точек съёмочной сети, t – точность прибора в минутах (если 2Т30, то t=0,5 мин).

- Сравниваем угловую невязку замкнутого теодолитного хода с допустимой. Если выполняется условие  $f_{\beta доп.} \geq f_\beta$ , то необходимо рассчитать угловую поправку и с обратным знаком распределить ее на все углы хода:

Угловая поправка рассчитывается по формуле:

$$\delta\beta = \frac{\pm f_\beta}{n}, \quad (21)$$

где n – количество углов в замкнутом полигоне.

Следует помнить, что если  $f_\beta$  получится со знаком (+), то поправка углов  $\delta\beta$  разбрасывается с обратным знаком, т.е. со знаком минус, и наоборот.

- Исправленные углы вычисляются по формуле:

$$\begin{aligned} \beta_{1 исп.} &= \beta_1 + \delta\beta \\ \beta_{2 исп.} &= \beta_2 + \delta\beta \end{aligned} \quad (22)$$

Результаты записываем в столбец 3 таблицы 3.

Контролем правильности расчетов является то, что сумма исправленных углов равна теоретической сумме, т.е. угловая невязка исправленных углов равна нулю ( $f_{\beta} = 0$ ), а  $\sum \beta_{испр} = \sum \beta_{теор}$ .

### Вычисление дирекционных углов и румбов сторон полигона

Дирекционный угол стороны I-II задается преподавателем, либо азимут измеряется с помощью буссоли, а затем, рассчитывается дирекционный угол, который заносится в столбец 4. Остальные дирекционные углы необходимо вычислить.

**Например**, известен дирекционный угол стороны I – II -  $\alpha_{I-II}$  и исправленные значения правых горизонтальных углов  $\beta$ , тогда дирекционный  $\alpha_{II-III}$  и последующие углы рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned} \alpha_{II-III} &= \alpha_{I-II} + 180^{\circ} - \beta_{II\text{ исп.}}; \\ \alpha_{III-IV} &= \alpha_{II-III} + 180^{\circ} - \beta_{III\text{ исп.}} \end{aligned} \quad (23)$$

Если в результате вычислений получится дирекционный угол, значение которого будет превышать  $360^{\circ}$ , то необходимо вычесть  $360^{\circ}$ , а если сумма  $\alpha_{n-1} + 180^{\circ}$  меньше вычитаемого угла, то необходимо прибавить  $360^{\circ}$ .

Контролем вычислений дирекционных углов в замкнутом полигоне служит получение первого дирекционного угла из дирекционного угла конечной стороны:

$$\alpha_{I-II} = \alpha_{XIV-I} + 180^{\circ} - \beta_{I\text{ исп.}} \quad (24)$$

В столбец 5 заносятся румбы, которые рассчитываются по формулам, приведенным в таблице:

Таблица 4

*Взаимосвязь табличных углов*

Четверть номер	Интервал изменения дирекционн о угла, град.	Формула перевода	Знаки приращений координат	
			$\Delta X$	$\Delta Y$
I	0-90	$r_I = \alpha$	+	+
II	90-180	$r_{II} = 180^{\circ} - \alpha$	-	+
III	180-270	$r_{III} = \alpha - 180^{\circ}$	-	-
IV	270-360	$r_{IV} = 360^{\circ} - \alpha$	+	-

В столбец 6 заносятся средние значения (прямое и обратное направление) горизонтальных проложений [9].

### Увязать и вычислить исправленные приращения координат

Зная горизонтальное проложение ( $d$ ) и дирекционный угол стороны, необходимо рассчитать приращение координат (изменение координат относительно какой-либо точки по оси  $X$  и  $Y$ ) по следующим формулам:

$$\Delta X_1 = d \cos \alpha \quad \text{и} \quad \Delta Y_1 = d \sin \alpha \quad (25; 26)$$

$$\Delta X_2 = d \cos \alpha \quad \text{и} \quad \Delta Y_2 = d \sin \alpha \quad \text{и т.д.}$$

Знаки приращений расставляются в зависимости от табличных углов (таблица «Взаимосвязь табличных углов»).

Вычисляем сумму приращений для  $X$  и для  $Y$  по следующим формулам:

$$f\Delta X = \sum \Delta X_{++} - \sum \Delta X_{--} \quad (27)$$

$$f\Delta Y = \sum \Delta Y_{++} - \sum \Delta Y_{--} \quad (28)$$

В замкнутом полигоне сумма приращений координат должна быть равна нулю:  $f\Delta X = 0$ ,  $f\Delta Y = 0$

Однако, в связи с погрешностями при съемке, практические значения отличаются от нуля (невязка приращений). Выявленную невязку с обратным знаком распределяют пропорционально горизонтальному проложению стороны, т.е. находят поправки

$$\text{поправка к } \delta_{\Delta X_1} = \frac{f \Delta X}{P} \cdot d_1 ; \quad (29)$$

$$\text{поправка к } \delta_{\Delta Y_1} = \frac{f \Delta Y}{P} \cdot d_1 ;$$

$$\text{поправка к } \delta_{\Delta X_2} = \frac{f \Delta X}{P} \cdot d_2 ;$$

$$\text{поправка к } \delta_{\Delta Y_2} = \frac{f \Delta Y}{P} \cdot d_2 \quad \text{и т.д.}$$

Сумма поправок должна быть равна невязки приращений с обратным знаком.

Перед тем, как рассчитывать поправки, необходимо рассчитать абсолютную линейную невязку  $f_{абс.}$ , затем относительную линейную невязку  $f_{отн.}$  :

$$f_{абс.} = \pm \sqrt{f\Delta X^2 + f\Delta Y^2} \quad (30)$$

$$f_{отн.} = \frac{1}{P : f_{абс.}} \quad (31)$$

**Сравнить относительную невязку  $f_{отн.}$  с допустимой невязкой.** Если относительная невязка допустима, то вычисленные поправки следует прибавить к вычисленным приращениям координат:

$$\begin{aligned} \Delta X_{1\pm} \text{ поправка} &= \Delta X_{1\text{испр}}. \\ \Delta Y_{1\pm} \text{ поправка} &= \Delta Y_{1\text{испр}}. ; \\ \Delta X_{2\pm} \text{ поправка} &= \Delta X_{2\text{испр}}. ; \\ \Delta Y_{2\pm} \text{ поправка} &= \Delta Y_{2\text{испр}}. \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

Заполнить столбцы 9 и 10. Контролем является сумма исправленных приращений координат равная нулю [9].

**Рассчитать координаты всех вершин полигона и вынести их на бумагу**

Координаты X и Y вершин тахеометрического хода находятся по следующим формулам:

$$\begin{aligned} X_{II} &= X_I \pm \Delta X_{\text{испр}}. \\ Y_{II} &= Y_I \pm \Delta Y_{\text{испр}}. \\ X_{III} &= X_{II} \pm \Delta X_{\text{испр}}. \\ Y_{III} &= Y_{II} \pm \Delta Y_{\text{испр}}. \end{aligned} \tag{32}$$

и т.д.

Контролем служит получение исходных значений для точки I ( $X_1$  и  $Y_1$ ):

$$\begin{aligned} X_I &= X_{VI} \pm \Delta X_{\text{испр}}. \\ Y_I &= Y_{VI} \pm \Delta Y_{\text{испр}}. \end{aligned} \tag{33}$$

т.е. ход должен замкнуться [9].

Приведены формулы для расчета замкнутого теодолитного хода, при прокладывании разомкнутого, висячего ходов, формулы берутся из справочников.

## Порядок обработки ведомости высот станций тахеометрического хода

Таблица 5

*Ведомость высот станций тахеометрического хода*

№ станций	горизонтальное проложение d (м)	превышение (м)			поправка $\delta_i$ (м)	исправленные превышения $h_{cp}^{испр}$ , (м)	высота станции $H_{абс}$ , (м)
		прямое $h_{пр}$	обратное $h_{обр}$	среднее $h_{cp}$			
1	2	3	4	5	6	7	8
I	21,45	-0,25	0,28	-0,04	0,004	-0,036	131,375
II	27,48	1,36	-1,38	0,265	-0,038	0,275	131,65
III	27,815	1,36	-1,37	1,365	-0,196	1,164	132,814
IV	28,635	0,4	-0,42	0,41	-0,06	0,34	133,154
V	26,18	-0,67	0,54	-0,605	0,082	-0,525	132,629
VI	30,98	-0,68	0,69	-0,685	0,109	-0,579	132,05
VII	31,375	-0,780	0,760	-0,770	0,126	-0,640	131,41
P = 193,916		$\Sigma h_{cp} = 0,06$			$\Sigma h_{cp}^{испр} = 0,001$		
$\Sigma h_{теор} = H_{кон} - H_{нач} = 0$		$fh = \Sigma h_{пр} - \Sigma h_{обр} =$			$fh \leq fh_{доп} = \pm 0,20 \sqrt{P} =$		
		$\delta_i = \frac{-fh}{P} \cdot d_i =$					

1. В графы 2, 3 и 4, ведомости высот станций тахеометрического хода (табл. 5) из журнала прокладки тахеометрического хода (см. табл. 2) выписывают, соответственно, средние горизонтальные проложения, прямые  $h_{пр}$  и обратные  $h_{обр}$  превышения между соседними станциями.

2. Если расхождения абсолютных величин прямого [ $h_{пр}$ ] и обратного [ $h_{обр}$ ] превышений составляют не более 4 см на 100 м расстояния, то вычисляют среднее значение  $h_{cp}$  и записывают его в графу 5 со знаком прямого превышения.

3. Отметку первой станции определяют при привязке к пункту государственной геодезической сети. В связи с этим  $H$  одной из станций известна. Теоретическое значение суммы измеренных превышений, равно разности известных отметок конечной и начальной точек. Так как полигон замкнутый, то теоретическая сумма превышений равна нулю:

$$\sum h_T = (H_K - H_H) = 0 \quad (34)$$

Сума измеренных средних превышений, в связи с погрешностями при проведении измерений, может быть не равна нулю.

4. Невязка превышений рассчитывается как разность сумм средних и теоретических:

$$fh = \sum h_{cp} - \sum h_T \quad (35)$$

Выявленную невязку сравнивают с допустимым значением, которое рассчитывается по формуле:

$$fh_{\text{доп.}} = \pm 0,20 \sqrt{P} \text{ мм} \quad (36)$$

где  $P$  - длина хода в км.

5. Если невязка оказалась допустимой, то вычисляют поправки, которые заносятся в графу 6 со знаком, обратным знаку невязки. Поправка рассчитывается путем распределения высотной невязки пропорционально длинам сторон хода:

$$\delta_1 = \frac{-f_h}{P} \cdot d_1 \quad (37)$$

где  $P$  – длина хода,  $d$  – горизонтальное проложение.

В графу 7 записывают исправленные превышения с учетом поправок. Для контроля рассчитывается сумма исправленных превышений, которая должна быть равна нулю.

6. Абсолютные отметки станций вычисляются путем суммирования известной  $H_{\text{абс}}$  с исправленным средним превышением  $h_{\text{ср}}$  последующей станции. Данные заносят в графу 8.

$$\begin{aligned} H_{III} &= H_{II} + h_{II-III}'' \\ H_{II} &= H_I + h_{I-II}'' \end{aligned} \quad (38)$$

Контролем правильности вычислений является получение первоначально известной отметки  $H$ .

### **Заполнение и обработка журнала тахеометрической съемки**

При съемке ситуации и рельефа прибор устанавливается на станции, ноль лимба ориентируется по одной из сторон хода, измеряется высота прибора  $i$ , высота  $H_{\text{абс}}$  выписывается из ведомости высот станций тахеометрического хода. На абрисе указываются речные точки необходимые для съемки ситуации и рельефа и нумеруются (столбец 1). Измеренные полярные углы записываются в столбце 5, вертикальные углы – столбец 6, отчеты по дальномерным нитям - столбец 2. Дальномерное расстояние рассчитывается, как разность отчетов по верхней и нижней дальномерной нитям – столбец 3. Вычисление горизонтальных проложений от станции до речных точек рассчитывается по формуле

$$d = D \cdot \cos^2(\nu) \quad (39)$$

и записывают в графу 4 журнала тахеометрической съемки, с округлением до сотых долей метра. Если угол наклона меньше  $2^\circ$ , то горизонтальное проложение принимается практически равным измеренному расстоянию.

Место нуля прибора определяется на каждой станции, угол наклона Угол наклона высчитывается с учетом места нуля (столбец 8).

Превышение каждой речной точки над станцией рассчитывается по формуле

$$h = h' + i - V, \quad (40)$$

где  $i$  - высота инструмента на станции;  $V$  - высота наведения средней нити на вертикально установленную на съёмочном пикете рейку (табл. 6, графа 10).

В общем случае превышения вычисляются по формуле

$$h' = d \operatorname{tg} \nu \text{ или } h' = 0,5 \cdot D' \sin^2 (\nu) \quad (41)$$

Вычисленные значения  $h'$  записывают в графу 9 с округлением до сотых долей метра. В графу 11 записывают значения превышений  $h$ . Если при визировании на точку труба наводилась, на высоту (на отсчет), равную высоте инструмента ( $\nu = i$ ), то  $h = h'$  и значение превышений из графы 9 без изменения переписывают в графу 11.

Отметки речных точек на каждой станции вычисляются путем алгебраического сложения отметки станции с соответствующим превышением:

$$Набс = Нст + h \quad (42)$$

Полученные значения заносятся в столбец 12.

В столбце 13 указывают объекты съёмки, или делаются другие пометки, которые в дальнейшем можно использовать для отрисовки объектов ситуации и рельефа.



Таблица 6

## Журнал тахеометрической съёмки

Наблюдаемая реечная точка	Отсчёты по рейке на реечные точки		Дальномерное расстояние, D (м)	Горизонтальное продолжение $d=D\cos^2\gamma$	Отсчёты по ГУК	Отсчёты по ВУК	МО	Угол наклона $\gamma$	$h' = d \operatorname{tg}\gamma$	Высота наведения, i (мм)	h	Набс	Примечание
	$n_H$	$n_B$											
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Станция I</b>		ориентирование I - II			i = 1456 мм			H абс. = 131,375					
1	1575	1338	23,7	23,65613	171,692	-2,467	0	-2,467	-1,02	1465	-1,02	130,36	
2	1549	1367	18,2	18,15	172,750	-3,000	0	-3,00	-0,95	1465	-0,95	130,42	столб
3	1518	1395	12,3	12,26	176,483	-3,417	0	-3,42	-0,73	1465	-0,73	130,64	начю дороги
4	1492	1420	7,2	7,17	184,400	-3,850	0	-3,85	-0,48	1465	-0,48	130,89	
5	1467	1443	2,4	2,40	265,583	-1,333	0	-1,33	-0,06	1465	-0,06	131,32	
6	1477	1434	4,3	4,30	314,350	0,400	0	0,40	0,03	1465	0,03	131,41	
7	1513	1400	11,3	11,30	334,283	0,833	0	0,83	0,16	1465	0,16	131,54	Конец дороги
8	1524	1388	13,6	13,60	20,000	0,950	0	0,95	0,23	1465	0,23	131,60	
9	1528	1383	14,5	14,50	23,083	1,050	0	1,05	0,27	1465	0,27	131,64	Дерево
10	1537	1377	16	15,99	37,933	1,033	0	1,03	0,29	1465	0,29	131,66	Дерево
11	1524	1387	13,7	13,70	46,467	0,900	0	0,90	0,22	1465	0,22	131,59	
12	1529	1384	14,5	14,50	59,766	1,033	0	1,03	0,26	1465	0,26	131,64	кустарник
13	1542	1368	17,4	17,39	64,850	1,166	0	1,17	0,35	1465	0,36	131,73	
14	1494	1417	7,7	7,70	74,666	1,100	0	1,10	0,15	1465	0,15	131,52	
15	1505	1407	9,8	9,79	111,533	-1,900	0	-1,90	-0,32	1465	-0,33	131,05	
16	1518	1383	13,5	13,48	132,150	-2,233	0	-2,23	-0,53	1465	-0,53	130,85	
17	1555	1356	19,9	19,88	141,817	-2,017	0	-2,02	-0,70	1465	-0,70	130,67	
18	1582	1331	25,1	25,08	146,200	-1,617	0	-1,62	-0,71	1465	-0,71	130,67	

**Пример.** Наклонное расстояние полученное по нитяному дальномеру  $D' = 23,7$  м, угол наклона  $\nu = -2^\circ 28'$ , высота визирования  $V=2$  м, высота инструмента  $i=1,49$  м, высота станции  $H_{\text{станц}}=131,375$  м. Найти высоту речной точки  $H$  - ?.

**Р е ш е н и е.** Рассчитываем горизонтальное проложение

$$d = D' \cos^2 \nu = 23,7 * \cos^2(-2^\circ 28') = 23,65 \text{ м}$$

Находим превышение при визировании на высоту  $V=2$  м

$$h' = 0,5 \cdot D' \sin^2 \nu \text{ или } h' = d \operatorname{tg} \nu = 23,65 * \operatorname{tg}(-2^\circ 28') = -1,02 \text{ м,}$$

Превышение  $h$  точки относительно станции рассчитываем:

$$h = h' + i - V = -1,02 + 1,49 - 2 = -1,53 \text{ м}$$

Для определения абсолютной высоты речной точки необходимо к абсолютной высоте станции прибавить превышение со своим знаком:

$$H_{\text{абс}} = H_{\text{см}} + h = 131,375 - 1,53 = 129,845 \text{ м.}$$

Ответ:  $H_{\text{абс}}=129,845$  м.

### **Графическая обработка материалов тахеометрической съемки**

Составление плана тахеометрического хода по координатам выполняют в следующей последовательности:

- 1. Определение размеров листа бумаги (формата) для построения плана**
- 2. Построение координатной сетки**
- 3. Построение по координатам точек-вершин тахеометрических ходов**
- 4. Нанесение рельефа и ситуации на план**
- 5. Оформление плана**

**Определение размеров листа бумаги (формата) для построения плана** производят по заданному масштабу и по величине координат, как по оси  $Y$ , так и по оси  $X$ .

А) Из вычисленных координат тахеометрического хода выбираем наибольшие и наименьшие координаты по оси  $X$  и по оси  $Y$ .

Б) Определяем протяженность тахеометрического хода по оси  $X$  и по оси  $Y$ .

В) Принимая во внимание масштаб составляемого плана вычисляем протяженность тахеометрического хода по осям.

Г) С учетом тахеометрической съемки (расстояние от станции до речных точек ситуации и рельефа) и оставления полей, зарамочного оформления выбираем размер бумаги.

**Пример.** По наибольшей и наименьшей абсциссам и ординатам теодолитного хода (табл. 3, графы 11, 12) определяют размеры участка и, в соответствии с масштабом плана, берут нужного размера лист чертежной бумаги.

$$X_{\max} = + 800,250 \text{ м}; Y_{\max} = + 227,692 \text{ м};$$

$$X_{\min} = + 725,908 \text{ м}; Y_{\min} = + 177,161 \text{ м}.$$

$$\text{Вычисляют: } X_{\max} - X_{\min} = 74,342 \text{ м}; Y_{\max} - Y_{\min} = 50,531 \text{ м}.$$

Следовательно, протяженность участка с юга на север составит 74,342 м, а с запада на восток – 50,531 м. В масштабе 1:500 протяженность участка с юга на север и с запада на восток составит 14,87 см и 10,11 см, соответственно.

В масштабе плана (1: 500) сторона квадрата в 10 см на местности соответствует расстояние в 50 м.

$$(X_{\max} - X_{\min}) \div 50 = (74,342) \div 50 = 1,487 \approx 2.$$

$$(Y_{\max} - Y_{\min}) \div 50 = (50,531) : 50 = 1,01 \approx 2.$$

Следовательно, необходимо построить два горизонтальный ряда целых квадратов по оси  $Y$  и два вертикальных квадрата по оси  $X$ . Так как производится тахеометрическая съемка необходимо учитывать расстояние от станции до речных точек, которые будут выходить за контуры хода.

С учетом объектов подлежащих съемке и зарамочного оформления плана, выбираем формат А2 (420\*594 мм) или А3 (297\*420 мм).

### **Построение координатной сетки**

Построение координатной сетки выполняется с помощью линейки Дробышева ЛД-1 или ЛБЛ. Построенную координатную сетку необходимо тщательно проконтролировать циркулем-измерителем (сравнивают между собой диагонали квадратов). Расхождение в их длинах допускаются не более 0,2 мм, если расхождения получаются больше, сетку строят заново[9].

Координатную сетку оцифровывают так, чтобы теодолитный ход размещался примерно в середине листа бумаги. Причем отметки координатных осей должны быть кратны выбранному масштабу[5,8].

### **Построение по координатам точек-вершин тахеометрических ходов**

Точки теодолитного хода наносят на план по вычисленным координатам. Нанесение точек выполняют с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки. Предположим, требуется нанести точку I с координатами  $X_I = 1015,15 \text{ м}$  и  $Y_I = -1984,85 \text{ м}$ . Сначала выясняют, в каком из квадратов сетки должна лежать эта точка: по направлению  $X$  точка должна находиться между линиями сетки с абсциссами + 1000 и +1200 (рис.17, а). От линии с абсциссой + 1000 по вертикальным сторонам этого квадрата откладывают вверх расстояние 15,15 м (рис.17, б) и проводят линию, параллельную линии с абсциссой +1000.

Вдоль этой линии от вертикальной линии сетки с ординатой - 2000 откладывают вправо расстояние  $-1984,85 - (-2000 \text{ м}) = 15,15 \text{ м}$ .

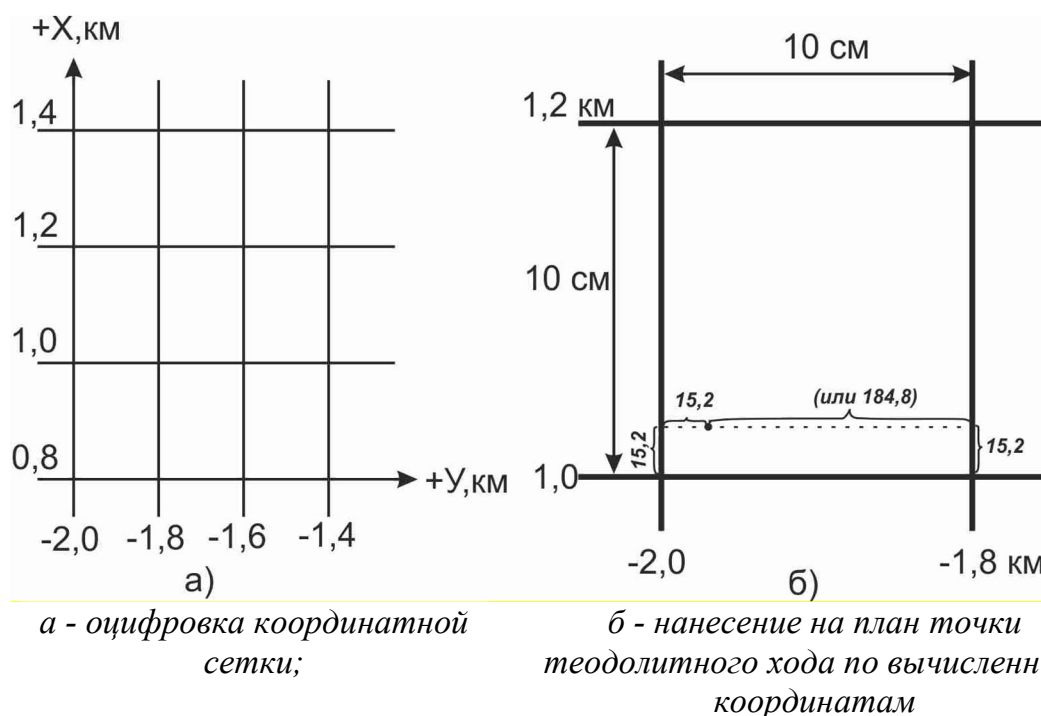


Рис. 17. Нанесение по координатам точек планового съемочного обоснования

Полученную точку обозначают слабым наколом иглы циркуля-измерителя и сразу же обводят окружностью диаметром 1,5 мм, внутри этой окружности никакие линии проводить нельзя.

Нанесение точек хода необходимо проконтролировать. Для контроля измеряют расстояния между нанесенными вершинами.

### Нанесение рельефа и ситуации на план

После построения тахеометрического хода на план наносят речные точки. Все точки контуров ситуации наносят на план теми же способами, которыми они были сняты на местности (полярных координат, перпендикуляров, угловых засечек, линейных засечек).

Для выноса речных точек на план используют циркуль-измеритель, масштабную линейку, транспортир, треугольник. Данные для нанесения речных точек на план берут из журнала тахеометрической съемки (табл. 6), а также используют абрисы.

Пикеты (на каждой станции) наносят по транспортиру, совмещая центр его с вершиной хода (станцией), а отсчет  $0^{\circ}00'$  с направлением, принятым на данной станции за начальное, затем откладывают горизонтальный угол и рассчитанное горизонтальное проложение до речных точек 1, 2, 3 и т.д., в соответствии с масштабом.

Нанесенную на план речную точку обозначают слабым наколом иглы циркуля-измерителя, обводят окружностью 1,0 мм и рядом карандашом подписывают номер точки и ее отметку (высоту).

Используя абрисы и вынесенные на план точки вычерчивают ситуацию.

Следы горизонталей на плане отыскивают используя графическую интерполяцию между ближайшими точками с отметками высот. Затем соединяют следы одноименных горизонталей плавной кривой и получают горизонтали. Абсолютные высоты некоторых горизонталей указываются в разрывах. Часть горизонталей подписывается. При некоторых горизонталях ставят бергштрихи в направлениях характерных линий рельефа; бергштрих обязательно ставят при каждой замкнутой горизонтали.

Высота сечения рельефа выбирается исходя из условий местности и задания.

### **Оформление плана**

Составленный план тщательно проверяют, после чего наносят в карандаше ситуацию условными знаками и вычерчивают зарамочное оформление согласно «Условным знакам для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 [6].

## Глава VI Линейное техническое нивелирование

При решении многих инженерных задач необходимо знать отметки точек. Для вычисления абсолютных отметок измеряют превышения по отношению к точке с известной абсолютной высотой. Процесс измерения превышения одной точки относительно другой называется нивелированием.

Преподавателем задается трасса для нивелирования. Целью нивелирования трассы является получение отметок всех пикетов и всех промежуточных точек. Определение превышения между пикетами производится по методу «из середины».

### *Нивелирование «из середины»*

Различают два вида геометрического нивелирования: нивелирование «из середины» и нивелирование «вперед». В основном, используется нивелирование «из середины», так как в этом случае ошибки инструментальные, за кривизну Земли и рефракцию исключаются.

При нивелировании из середины нивелир устанавливают посередине между точками А (задней) и В (передней), в которые ставят нивелирные рейки (рис.18). Нивелир приводят в рабочее положение и наводят зрительную трубу на заднюю рейку и берут отсчет  $a$ , затем наводят трубу на переднюю рейку и берут отсчет  $b$  [1, 3, 4]. Превышение точки В относительно точки А получают по формуле:

$$h = a - b \quad (43)$$

Если  $a > b$ , превышение положительное, если  $a < b$  -отрицательное.

Отметка точки В вычисляется по формуле:

$$H_B = H_A + h_{AB}. \quad (44)$$

Высота визирного луча над уровнем моря называется горизонтом инструмента и обозначается ГИ:

$$ГИ = H_A + a = H_B + b. \quad (45)$$

Отметку передней (46) и промежуточной (47) точек можно определить через горизонт инструмента:

$$H_B = ГИ - b. \quad (46)$$

$$H_c = ГИ - c. \quad (47)$$

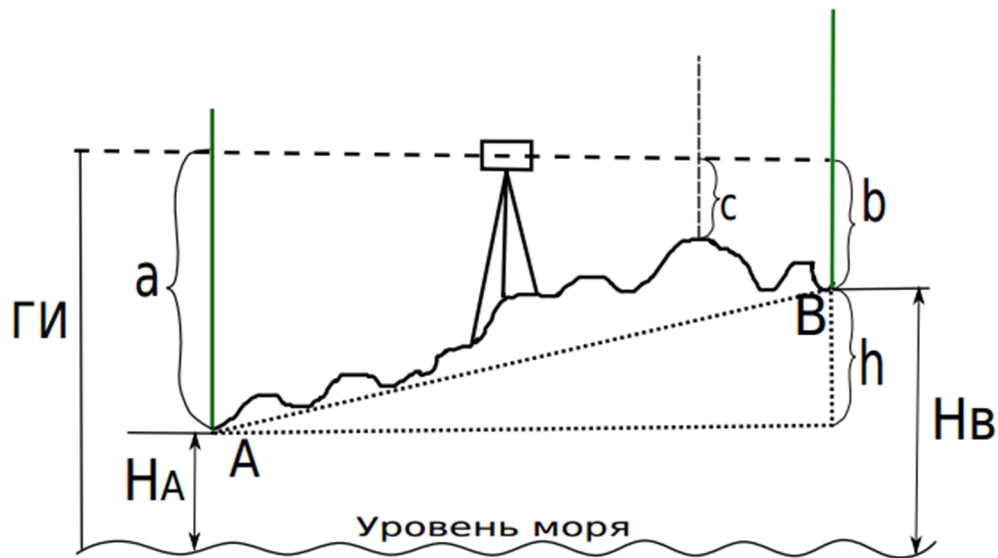


Рис.18 Нивелирование из середины

Если точки А и В находятся на большом расстоянии одна от другой и превышение между ними нельзя измерить с одной установки нивелира, то на линии АВ намечают промежуточные точки 1, 2, 3 и т.д. и измеряют превышение по частям (рис.19). Такое нивелирование называется сложным [9].

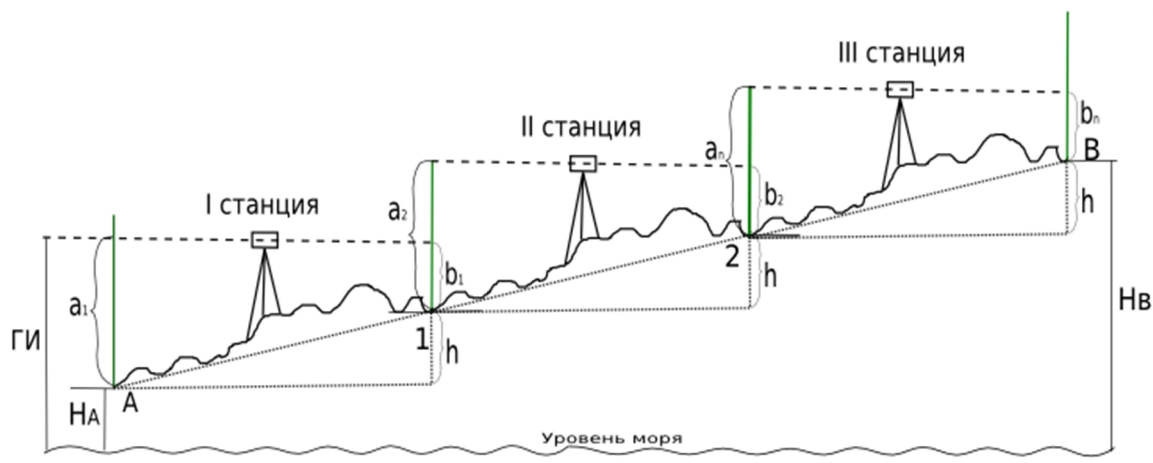


рис.19 Сложное нивелирование

На первом участке А-1 берут отсчеты по задней рейке -  $a_1$  и по передней -  $b_1$ . Затем переносят нивелир в середину второго участка, а рейку с точки А переносят в точку 2, берут отсчеты по рейкам: по задней -  $a_2$  и по передней -  $b_2$ . Эти действия повторяют до конца линии АВ. Точки, позволяющие связать горизонты прибора на соседних установках нивелира, называются связующими. На этих точках отсчеты берут два раза - сначала по передней рейке, а затем по задней.

Превышение на каждой установке нивелира, называемой станцией, вычисляются по формуле (43), а превышение между точками А и В будет равно:

$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b . \quad (48)$$

Отметка точки В высчитывается по формуле:

$$H_B = H_A + \sum h. \quad (49)$$

В случаях, когда нет прямой видимости между рейками, используются дополнительные связующие точки, называемые «иксовыми». Отчеты берутся по «иксовым» точкам так же, как и по пикетным, при повторной установке инструмента.

Для того чтобы показать характерные особенности рельефа вводятся плюсовые точки, абсолютная высота которых считается через горизонт инструмента. Отсчеты берутся по одной стороне рейки (рис 18, точка с).

#### **Порядок работы на станции:**

1. Нивелир устанавливается между нивелируемыми связующими точками на равном расстоянии от них. Равенство расстояний определяется на глаз, шагами или с помощью нитяного дальномера. Инструмент может быть установлен в створе линии или сбоку от нее для удобства нивелирования.
2. Нивелир приводится в рабочее состояние. Пузырек уровня устанавливается на середину, компенсатор должен быть исправен.
3. Нивелирование связующих точек:
  - а) отсчет по задней рейке -  $z_1$
  - б) отсчет по передней рейке -  $п_1$
  - в) измерение высоты инструмента на 5-7 см,
  - г) отсчет по передней рейке -  $п_2$
  - д) отсчет по задней рейке -  $z_2$
4. Вычисление превышений.

$$h' = z_1 - П_1 \quad (50)$$

$$h'' = z_2 - П_2 \quad (51)$$

Расхождение между превышениями  $h'$  и  $h''$  не должны быть более 5 мм. В случае расхождения превышений более чем на 5 мм, необходимо произвести измерения повторно.

#### ***Порядок обработки журнала технического нивелирования***

Вычисление отметок точек при техническом нивелировании выполняется в журнале, и складывается из следующих операций:

1. Вычисление наблюдаемых превышений, по формулам (50; 51). Результаты записать в соответствующие строки графа 6 таблицы 7.



2. Вычисление средних превышений (графа 7).
3. Постраничный контроль. Внизу каждой страниц выписывают суммы: ( $\Sigma_3$ ) графа 3; ( $\Sigma_n$ ) (графа 4); наблюдаемых превышений  $\Sigma_h$  (графа б); средних превышений  $\Sigma h_{cp}$  (графа 7). После этого проверяют соблюдение условий:

$$\Sigma_3 - \Sigma_n = \Sigma_h = 2 \Sigma h_{cp} \quad (52)$$

4. Вычисление суммы средних превышений по всему ходу.
5. Вычисление высотной невязки хода по формуле:

$$fh_{расчѐтн.} = \sum h_{cp} - (H_{конечное} - H_{начальное}), \quad (53)$$

6. Полученное значение высотной невязки необходимо сравнить с допустимой невязкой, которая рассчитывается по формуле:

$$fh_{доп.} = \pm 0,50 \text{ мм} \sqrt{L(\text{км})} \quad (54)$$

где  $L$  – длина трассы в километрах.

7. Распределение невязки. Невязка распределяется с обратным знаком поровну на все средние превышения. Исправленные превышения записывают в графу 8.

8. Сумма исправленных превышений ( $\Sigma h^И$ ) должна быть равна превышению по всей трассе:

$$\sum h^И = H_{конечное} - H_{начальное}, \quad (55)$$

9. Зная отметку первой пикетной точки и исправленное превышение между пикетами, вычисляем отметку последующего пикета.

$$H_{АПК_1} = H_{АПК_0} \pm H^И, \quad (56)$$

Результаты заносятся в графу 10.

10. Для определения абсолютных отметок плюсовых точек необходимо для каждой станции определить горизонт инструмента ГИ – расстояние от уровня моря до оси визирования прибора (данная величина на каждой станции будет иметь разное значение). ГИ рассчитывается через задний и передний пикеты:

$$ГИ = H_{АПК_0} + 3_1 = H_{АПК_1} + П_1, \quad (57)$$

11. Если разница этих значений не превышает  $\pm 5$  мм, то определяют среднее значение высоты горизонта инструмента.

12. Отметка промежуточной (плюсовой) точки равна горизонту инструмента минус отсчет по рейке на промежуточной точке

$$H_{np} = ГИ - O_{np}, \quad (58)$$

Таблица 7

## Журнал технического нивелирования

№ станции	№ пикетов и плюсовых точек	Отсчеты по рейкам, мм пикетов			Превышения, мм			Горизонт инструмента ГИ, мм	Отметки точек, м
		задней (з)	передней (п)	промежуточ (пр)	наблюден. h	средние h .	исправл h <sup>н</sup>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ПК 0	0542	2432		-1890	6 - 1891,5	-1885,5	199,63	199,086
	ПК1	5307	7200		-1893				197,2
	+40			2355					
2	ПК1	7400	0526		2104	6 (2106+1508)=3614	3620		
	X		5292		2108				
3	X	1926	0418		1508	6 1508	1514		
	ПК2	6695	5187		1508				200,82
4	ПК2	1249	1357		-108	6 -112	-106	202,071	
	ПК3	6013	6124		-111				200,717
	+55			917					201,154
5	ПК3	1874	0836		1038	5,5 1037,5	1042	202,593	
	ПК4	6640	5603		1037				201,760
	+28								200,686
		Σз=40276	Σп=34976		Σ=5301	Σ=2650	Σ=2674,0		

Σз - Σп = 5301 мм; fh<sub>расч</sub> = -23,5 мм; Δfh=+6; +6; +6; +5,5.

### *Составление профиля нивелирования*

Профиль технического нивелирования строят на миллиметровой бумаге в двух масштабах – горизонтальном и вертикальном. Соотношение масштабов выбирают 1:5, 1:10 или 1:20. Например, горизонтальный 1:2000, вертикальный 1:200.

Сначала откладывают расстояние между пикетами и промежуточными точками (плюсовыми точками) в выбранном масштабе. Затем по наименьшей отметке устанавливается отметка условного горизонта. От этой линии в выбранном вертикальном масштабе откладываются превышения пикетов над условным горизонтом. Полученные точки соединяются ломаной линией. Ниже линии условного горизонта подписывают номера пикетов и плюсовых точек.

На рисунке 20 (масштаб рисунка уменьшен) приведён профиль нивелирования.



Рис. 20. Профиль нивелирования (Передерин В.М. [9]).

## Глава VII Расчет элементов выноса проекта в натуру

Разбивочные работы являются процессом обратным топографической съемке. Если при съемке положение точек определяется с помощью теодолита, а затем точки наносятся на план, то в процессе разбивки, наоборот, запроектированные на плане точки переносятся на местность.

Переносу проекта в натуру предшествует геодезическая подготовка данных, в процессе которой по имеющимся координатам характерных точек вычисляют разбивочные элементы, т.е. дирекционные, полярные углы, расстояния, определяющие положения этих точек относительно пунктов геодезической сети.

На вычерченном плане, руководитель практики задает две произвольные точки **A** и **B**. Между которыми планируется построить газопровод, либо какое-то другое сооружение линейного типа (рис 21).

Для перенесения точек **A** и **B** на местность способом полярных координат необходимо рассчитать горизонтальные углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_4, \beta_5$ , горизонтальные проложения  $d_1, d_2, d_4, d_5$ .

Исходными данными являются координаты точек **I, II, IV, V**, значение которых рассчитаны в таблице 3 (Ведомость вычисления координат...).

Координаты точек **A** и **B** снимаются с вычерченного плана.

С целью вычисления горизонтального угла  $\beta_5$  рассмотрим треугольник **IV-B-V** отдельно (рис 22).

Для нахождения угла  $\beta_5$ , сначала необходимо рассчитать угол  $\gamma$  и угол  $\alpha$ . Затем из прямого угла образованного линиями сетки вычесть углы  $\gamma$  и  $\alpha$ .

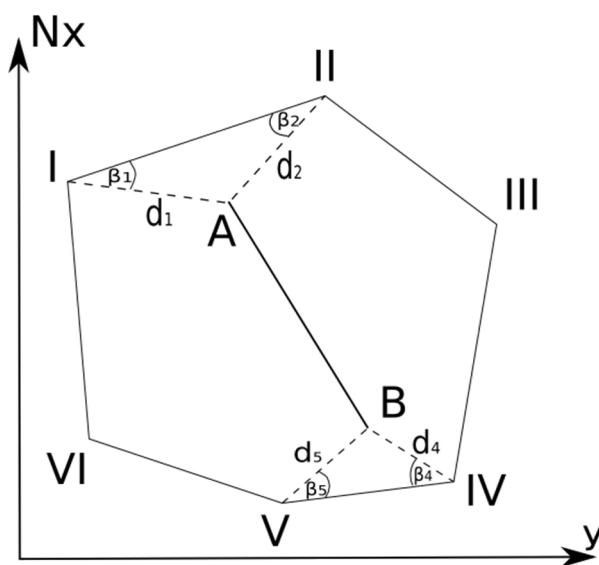


Рис.21 Проектирование линейного объекта

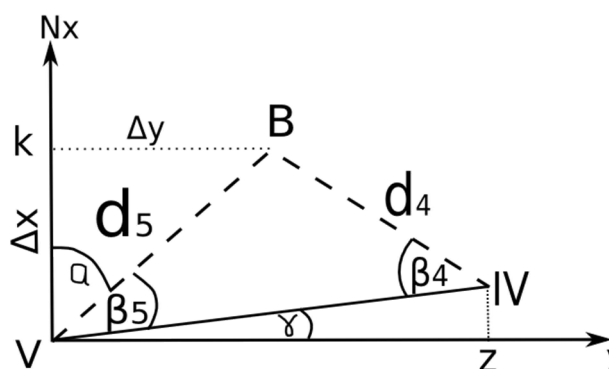


Рис.22 Треугольник V-B-IV

Расчет угла  $\alpha$  производится в треугольнике V-B-k следующим образом:  $\Delta x$  — это разность значений координат по оси X точек B и V.

$$\Delta x = X_{кон}(B) - X_{нач}(V), \quad (59)$$

Соответственно, по оси Y:

$$\Delta y = Y_{кон}(B) - Y_{нач}(V). \quad (60)$$

Взаимосвязь между катетами  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  и углом  $\alpha$  выражается через tg. Угол  $\alpha = \arctg(\Delta y / \Delta x)$ . (61)

Рассматривая треугольник IV-V-z высчитываем угол  $\gamma$ .

Угол  $\beta_5 = \gamma - \alpha$ . (62)

Горизонтальное проложение  $d_5$  (5-B) рассчитывается из треугольника B-5-B'' по формуле:

$$d_5^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2 \quad (63)$$

$$d_5 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (64)$$

Контроль проводится по формулам:

$$d_5 = \Delta X / \cos(\alpha) \quad (65)$$

$$d_5 = \Delta Y / \sin(\alpha) \quad (66)$$

Контролем угловых вычислений является сумма углов треугольника V-B-IV=180.

Остальные элементы необходимые для выноса проекта в натуру, полярные углы  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_5$  и горизонтальные проложения  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_4$ , рассчитываются таким же образом.

## **Глава VIII Отчет по учебной геодезической практике**

Отчет по учебной геодезической практике пишется в процессе выполнения полевых и камеральных работ и составляется один на всю бригаду. Ненастные дни, не позволяющие проводить полевые измерения, должны быть использованы для написания отчета и камеральной обработки полученных данных.

Рекомендуемое содержание отчета по учебной геодезической практике следующее:

### *Содержание*

#### *Введение*

#### *1. Поверки теодолитов*

*1.1. Поверки круглого и цилиндрического уровней*

*1.2. Поверка и регулировка сетки нитей*

*1.3. Определение коллимационной погрешности*

*1.4. Определение места нуля*

#### *2. Создание съемочного обоснования и тахеометрическая съемка*

*2.1. Рекогносцировка*

*2.2. Измерения по созданию съемочной сети прокладкой тахеометрической хода*

*2.2.1. Порядок работы на станции при прокладке тахеометрического хода*

*2.2.2. Плано-высотная привязка съемочной сети к государственной геодезической сети ГГС или другому пункту, с известными координатами.*

*2.3. Съемка объектов ситуации и рельефа*

*2.3.1. Работа на станции при тахеометрической съемке, составление абриса и заполнение полевого журнала.*

*2.4. Камеральная обработка результатов*

#### *3. Техническое нивелирование*

*3.1. Поверки нивелира*

*3.2. Рекогносцировка и разбивка трассы, привязка ее к реперам местной геодезической сети*

*3.3. Нивелирование трассы и поперечников*

*3.4.1. Порядок работы на станции*

*3.5. Обработка результатов нивелирования*

#### *4. Расчет элементов выноса линии разведочных скважин или осей разведочной канав.*

#### *Заключение*

#### *Список литературы*

## ***Приложение***

- 1. Дневник бригадира*
- 2. Съемочная сеть*
- 3. Каталог координат съемочной сети*
- 4. Журнал прокладки тахеометрического хода*
- 5. Ведомость высот станций*
- 6. Ведомость вычисления координат точек тахеометрического хода*
- 7. Абрисы тахеометрической съемки*
- 8. Журнал тахеометрической съемки*
- 9. Журнал технического нивелирования*
- 10. Профиль местности по съемочной сети и по поперечникам*
- 11. Калька фактического материала*
- 12. Разбивочный чертеж по вынесению проекта в натуру*
- 13. Пикетажный журнал*

Текст отчета необходимо иллюстрировать схемами, таблицами, формулами и ссылками на используемые материалы. Рекомендуемый объем составляет 15-20 страниц формата А4.

Защита отчета проводится в виде устного опроса по теоретической и практической части, непосредственно относящейся к учебной геодезической практике.

### Список литературы:

1. Основы геодезии и топографии: учебное пособие / В.М. Передерин, Н.В. Чухарева, Н.А. Антропова. Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 123 с.
2. <http://ru.wikipedia.org>
3. Радионов В.И. Руководство по учебной геодезической практике: Учебное пособие для техникумов. - М.: Недра, 1083.-189 с.
4. Громов А.Д., Панкратов А.В. Руководство по проведению учебной геодезической практики. Учебное пособие. Томск. Изд. ТПУ. 1990. — 84 с.
5. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М. «Недра», 1973, 176 с.
6. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М. «Недра», 1989, 286 с.
7. Передерин В.М. Правила обращения с оптическими геодезическими приборами. Техника безопасности / Методические указания к выполнению лабораторных работ для всех специальностей 1 курса – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 8 с.
8. Ганьшин В.Н., Коськов Б.И., Хренов Л.С. Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. Изд. 2, перераб. и доп. М., «Недра», 1977, с 248.
9. Передерин В.М., Чухарева Н.В., Антропова Н.А., Щадрин А.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Геодезия и топография». – Томск: Изд-во ТПУ, 2006, 82 с.
10. <http://lib.znate.ru>



Учебное издание

БЕРЧУК Вадим Юрьевич  
КОНЧАКОВА Наталья Викторовна  
ПОЦЕЛУЕВ Валерий Никифорович

## РУКОВОДСТВО ПО УЧЕБНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Учебное пособие

Подписано к печати . . . 2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. . . Уч.-изд. л. . .  
Заказ . . . Тираж 5 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО** 

ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru