

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Рекомендовано
учебно-методическим объединением по образованию
в области природопользования и лесного хозяйства
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 6-05-0821-01 «Лесное хозяйство»

Минск 2025

УДК 528.48(075.8)
ББК 26.12я73
И62

Авторы:

*Н. Я. Сидельник, П. В. Севрук, С. В. Ковалевский,
О. В. Кравченко, С. С. Цай*

Рецензенты:

кафедра геодезии и космоаэрокартографии
Белорусского государственного университета
(заведующая кафедрой кандидат географических наук,
доцент *А. А. Тоназ*);
декан землеустроительного факультета
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»
кандидат технических наук, доцент *О. Н. Писецкая*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Инженерная геодезия : учеб.-метод. пособие для студентов
И62 специальности 6-05-0821-01 «Лесное хозяйство» / Н. Я. Сидельник, П. В. Севрук, С. В. Ковалевский [и др.]. – Минск : БГТУ, 2025. – 196 с.
ISBN 978-985-897-213-4.

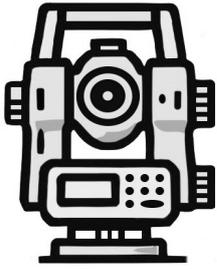
В учебно-методическом пособии представлен порядок прохождения учебной практики по дисциплине «Инженерная геодезия», состоящей из полевых и камеральных работ, для студентов специальности 6-05-0821-01 «Лесное хозяйство». Определены цели и задачи каждого этапа работ, описаны требования, предъявляемые к ним. Указывается методика выполнения проверок геодезических приборов, рекогносцировки местности, угловых, линейных и высотных измерений, решения инженерно-геодезических задач, обработки результатов измерений, оформления графических материалов и отчета.

Пособие может быть использовано не только во время геодезической практики, но и при выполнении лабораторных работ по геодезии, так как содержит учебный материал лабораторных занятий.

УДК 528.48(075.8)
ББК 26.12я73

ISBN 978-985-897-213-4

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2025



ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебная практика по дисциплине «Инженерная геодезия» является важным звеном в закреплении знаний у студентов специальности «Лесное хозяйство», получении ими практических навыков работы с геодезическими приборами и изучении основных методов съемки лесных объектов и создания картографических материалов, что в дальнейшем будет использоваться при освоении электронных и спутниковых таксационных приборов (GPS) и цифровой (ГИС) лесохозяйственной информации (лесных карт, лесоустроительных планшетов, аэрофото- и космических снимков).

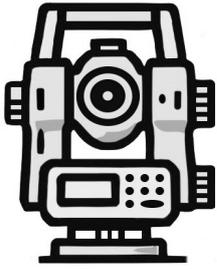
Изучение основ геодезических работ начинается с рассмотрения относительно простых оптико-механических приборов, применяемых при лесных съемках, заканчивается составлением топографических и лесных карт и решением по ним геодезических задач.

Цель учебной практики по инженерной геодезии – овладение навыками проведения основных видов наземных геодезических съемок и решения прикладных инженерно-геодезических задач для нужд лесного хозяйства.

Задания практики включают: освоение теодолитной, буссольной и элементов спутниковой съемок лесных участков; проведение типовых инженерно-геодезических работ, в том числе отвод участка в заданных проектом границах, прокладку и нивелирование трассы лесовозной дороги, топографическую съемку тахеометрическим способом и нивелированием по квадратам; решение основных геодезических задач, выполняемых при строительстве зданий и сооружений в лесхозе.

Согласно действующему учебному плану специальности 6-05-0821-01 «Лесное хозяйство» продолжительность учебной практики по геодезии составляет 18 дней (108 ч), она проводится на базе Негорельского учебно-опытного лесхоза во втором семестре. По ее окончании сдается дифференцированный зачет.

При написании учебно-методического пособия без прямого цитирования и специальных ссылок были использованы книги и работы ряда авторов [1–30], обратившись к которым, можно более подробно ознакомиться с теоретической и практической сторонами отдельных вопросов.



СОДЕРЖАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИКИ

Руководителем практики назначается один из преподавателей кафедры лесоустройства. В его обязанности входит осуществление общего руководства практикой, контроль и оказание помощи студентам при выполнении заданий и работ.

Для выполнения программы практики учебная группа делится на бригады, каждая из которых получает задания по практике, выполняет их и заносит результаты в общий бригадный отчет, который защищает в конце практики. Бригада состоит из 5–6 человек, в ней назначается свой руководитель – бригадир, кандидатура которого предлагается бригадой. В виде исключения в учебной группе может быть создана одна бригада из 7 человек. Бригады приоритетно комплектуются на добровольных началах. Состав бригады остается постоянным (за редким исключением) на весь период практики.

Для выполнения всех видов работ каждая бригада получает в первый день практики в кабинете № 25 следующий комплект инструментов и снаряжения:

- теодолит 2Т30 (Т30) с ориентир-буссолью;
- штатив для теодолита и нивелира с отвесом и противовесом;
- нивелир Н-3;
- рейки нивелирные двухсторонние складные – 2 шт.;
- буссоль (гониометр) со штативом;
- вешки – 2 шт.;
- землемерная рулетка (или лента ЛЗ-20) с 6 шпильками;
- топор;
- полевая сумка;
- комплект методических пособий, журналы измерений и бланки для вычислений;
- геодезический транспортир, планиметр и линейка Дробышева (выдаются по мере необходимости).

Расходные материалы и канцелярские принадлежности: бумага писчая для составления отчета – 40–50 листов на бригаду; школьная тетрадь (крупный блокнот) в клетку для полевых записей; лист

ватмана формата А0 – 2 шт., А3 – 1 шт., лист миллиметровой бумаги формата А2 – 1 шт., маркер темного оттенка; циркуль-измеритель; простые карандаши; линейки и треугольники; ластик; гелевые ручки черного и красного цветов, коричневый карандаш – приобретаются самостоятельно студентами до начала прохождения учебной практики.

До начала использования приборов студенты под руководством преподавателя изучают технику безопасности и правила поведения на практике. Без изучения правил техники безопасности студенты к прохождению практики не допускаются.

Практика проводится в течение 3 недель, которые состоят из 6 рабочих дней (по 6 академических часов ежедневно). Вид, объем и продолжительность работ на ней устанавливаются согласно рабочей программе практики (таблица). Порядок выполнения работ (начало и окончание рабочего дня) и работы по дням на учебной практике могут изменяться при необходимости на усмотрение руководителя.

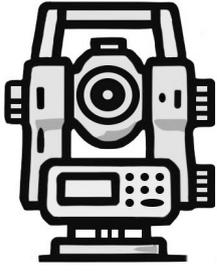
Календарно-тематический план прохождения геодезической практики

Вид работ	Рабочий день практики
Организация практики. Вводный инструктаж о правилах поведения студентов в общежитии и на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза. Проведение и документальное оформление инструктажа о требованиях безопасности труда при выполнении геодезических работ и в свободное от занятий время. Инструктаж по правилам бережного и безопасного обращения с геодезическими приборами и дополнительным оборудованием. Распределение студентов по бригадам. Выдача приборов для бригад	1
1. Теодолитная съемка. Поверки и юстировки теодолита. Тренировочные измерения углов и превышений. Прокладка тренировочного теодолитного хода. Компарирование землермерной ленты. Техника измерения расстояний. Тренировочные измерения углов и расстояний, обработка данных	1
Рекогносцировка контура участка съемки. Закрепление станций. Теодолитная съемка. Измерение горизонтальных углов теодолитом и сторон хода. Составление абрисов. Текущая обработка результатов измерений, оперативный их контроль, выявление на местности ошибочных данных	2
Привязка основного теодолитного хода. Прокладка и теодолитная съемка диагонального хода. Съемка прилегающей ситуации участка относительно створных линий различными способами	3

Вид работ	Рабочий день практики
Камеральная обработка результатов измерений, оперативный их контроль, выявление на местности ошибочных данных. Составление лесоустроительного планшета по результатам теодолитной съемки	4
2. Буссольная съемка. Поверки буссоли или гониометра. Тренировочные измерения магнитных азимутов и румбов на сторонах замкнутого многоугольника. Определение склонения магнитной стрелки на нескольких сторонах теодолитного хода	5
Освоение буссольной съемки выделов и границ лесоучастков (лесосеки). Буссольная съемка по индивидуальным заданиям. Обработка данных буссольной съемки. Нанесение буссольных ходов на лесоустроительный планшет графическим способом. Вычисление и уравнивание невязки. Камеральная обработка результатов измерений, контроль их точности, исправление неверных результатов повторными измерениями	6
Определение площади (аналитическим и механическим методами) лесоучастка и выделов. Окончательное оформление лесоустроительного планшета по результатам буссольной и теодолитной съемок	7
3. Геодезические измерения на трассе лесовозной дороги. Поверки и юстировки нивелира. Тренировочный нивелирный ход. Техника измерения превышений. Рекогносцировка трассы лесохозяйственной дороги и разбивка пикетажа	8
Пикетажный журнал и съемка притрассовой полосы местности, разбивка главных элементов 1–2 круговых дорожных кривых и поперечников. Техническое нивелирование пикетных точек трассы и поперечников. Текущая обработка материалов нивелирования. Постраничный контроль	9
Вычислительная обработка результатов нивелирования в камеральных условиях, контроль их точности, исправление неверных результатов повторными измерениями. Вычисление высотных отметок пикетов и промежуточных (плюсовых) точек, составление продольного профиля трассы и профилей поперечников, нанесение проектного профиля трассы и расчеты проектных и рабочих отметок. Расчеты круговых участков трассы и отображение их на профиле	10
4. Тахеометрическая съемка. Создание планово-высотного обоснования. Специальные поверки теодолита: определение коэффициента дальномера и величины места нуля вертикального круга	11
Освоение методики тахеометрической съемки лесоучастка. Порядок работ на станции. Расстановка съемочных пикетов, составление абрисов. Обработка журнала тахеометрической съемки	12

Окончание таблицы

Вид работ	Рабочий день практики
Вычислительная обработка полевых материалов, нанесение ситуации и составление топографического плана лесоучастка	13
5. Топографическая съемка. Нивелирование по квадратам. Разбивка сетки квадратов на участке съемки, нивелирование по квадратам, высотная привязка участка. Камеральная обработка данных с определением высот вершин квадратов. Составление топографического плана с горизонталями	14
6. Решение инженерно-геодезических задач. Измерение высоты деревьев геодезическим способом. Разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат. Оформление результатов выполненных задач. Составление отчета	15
Вынос на местность точек с заданными проектными высотами. Построение линий с заданным уклоном. Проектирование на лесоустроительном планшете контура лесоучастка для выноса его в натуру, составление абриса и расчет данных для выноса. Оформление результатов выполненных задач. Составление отчета	16
Перенесение на местность контура лесоучастка буссольным ходом. GPS-съемка контура лесоучастка (лесосеки). Оформление результатов выполненных задач. Составление отчета	17
Проведение дифференцированного зачета. Завершение составления и оформления отчета по материалам учебной практики. Проверка, ремонт, консервация и сдача инструментов на склад кафедры. Проведение индивидуально-бригадного дифференцированного зачета по итогам учебной геодезической практики	18



ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА, ОБЯЗАННОСТИ БРИГАДИРА И ЧЛЕНОВ БРИГАДЫ

Приборы, принадлежности и учебная литература выдаются бригадиром под расписку. Материальную ответственность за утерю или поломку (порчу) геодезических приборов и оборудования несет бригада в целом (поэтому лучше распределить приборы между членами бригады, письменно зафиксировав персональную ответственность за них). В случае утери или серьезной поломки приборов виновные обязаны до окончания практики приобрести их в магазине, а в случае небольшой поломки выполнить ремонт за свой счет, иначе к защите практики бригада не допускается.

Все студенты обязаны быть на месте сбора в установленное время, независимо от погодных условий. В дождливую погоду студенты являются на практику как обычно и занимаются камеральными работами. Опоздание на практику не допускается. Опоздавший студент предоставляет руководителю практики письменное объяснение. Уход с места практики на согласованное время *разрешает только руководитель* практики. Уход с места работы бригады с разрешения бригадира допускается не более чем на 10 мин.

В *обязанности бригадира* входят: получение от руководителя практики заданий по каждому виду работ и доведение их до бригады, ежедневное обеспечение равномерного распределения задач между студентами своей бригады при выполнении всех видов полевых и камеральных работ для организации качественного выполнения бригадой всех работ в установленные преподавателем сроки; поддержание образцовой трудовой и учебной дисциплины в бригаде и контроль за строгим соблюдением каждым студентом бригады правил техники безопасности и правил внутреннего распорядка; контроль за бережным отношением со стороны всех студентов бригады к геодезическим инструментам и приборам; ежедневное ведение бригадной тетради-дневника (черновика) практики с записью заданий преподавателей, а также результатов

их выполнения и возникших вопросов в процессе работы; слежение за полнотой и аккуратностью ведения геодезических журналов, абрисов и другой технической документации для итогового оформления отчета.

Все *остальные члены бригады* во время работ подчиняются своему бригадиру и обязаны: бережно обращаться с геодезическими приборами, оборудованием, пособиями и другим государственным имуществом; строго соблюдать правила внутреннего распорядка во время практики и на территории студгородка, техники безопасности и охраны окружающей среды; добросовестно относиться к своим обязанностям и выполнять порученные задания по практике.

Каждый студент бригады должен принимать личное участие в выполнении всех видов полевых и камеральных работ, предусмотренных программой практики, в установленные календарным планом сроки. Студент несет личную ответственность за порученную ему часть работы, так как от качества и своевременности ее выполнения зависит в конечном итоге успех работы бригады в целом.

Студенты, систематически нарушающие трудовую и учебную дисциплину, правила техники безопасности и охраны природы и окружающей среды, отстраняются руководителем от дальнейшего прохождения практики.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ употреблять спиртосодержащие напитки и наркотические вещества. Студенты, появившиеся на работу в нетрезвом состоянии, отстраняются от практики и направляются руководителем в деканат. Студенты, страдающие тяжелыми хроническими заболеваниями или находящиеся в болезненном состоянии, к полевым работам не допускаются.

Студент, который по любой причине пропустил день практики (нужно предоставить оправдательный документ), обязан отработать невыполненное задание в свободное от практики время и внести в отчет бригады полученные им материалы или же оформить их в виде отдельного отчета, который защищается этим студентом индивидуально и затем прилагается к отчету бригады. Те, кто пропустил *более чем три дня*, не допускаются к дальнейшему прохождению практики без соответствующего разрешения деканата или рекомендуются к прохождению ее в другой срок, установленный решением деканата и заведующего кафедрой.

Прием работ и дифференцированный зачет по практике проводятся преподавателем-руководителем индивидуально, чаще всего в присутствии всей бригады. *Студенты, не выполнившие все виды работ согласно программе практики или нарушившие правила внутреннего распорядка в период прохождения практики или на территории студгородка БГТУ, к зачету по практике не допускаются.*

Студенты, не прошедшие практику без уважительной причины и не получившие по ней зачет, не переводятся на следующий курс.

На зачете каждый член бригады должен показать знание методов выполнения и организации работ, входящих в программу практики, указать лично им выполненные фрагменты работ и проявить навыки обращения с приборами.



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ

Все полевые и камеральные работы выполняются бригадой с соблюдением правил по технике безопасности. Соответствующий инструктаж, проведенный руководителем практики, оформляется в виде контрольного листа (акта) по технике безопасности с подписью каждого студента.

В процессе рекогносцировки руководитель практики проводит инструктаж на месте работы каждой бригады, учитывая местные условия.

В ходе полевых работ необходимо соблюдать следующие требования безопасной работы и правила санитарной гигиены.

1. При выполнении геодезических работ в поле, связанных с изготовлением и забивкой кольшков и сторожков, пользуются только исправными топорами, имеющими надежно насаженные рукоятки. Не разрешается забивать кольшки и сторожки подручными предметами.

2. Запрещается работать на солнце без головных уборов и в открытой одежде (загорать). Обувь должна быть полностью закрытая, предпочтительно на толстой подошве. В наиболее жаркие часы дня (при температуре выше $+25^{\circ}\text{C}$) работа переносится на более прохладное утреннее и вечернее время.

3. В связи с повышенной опасностью заболевания клещевым энцефалитом необходимо выполнять работы в закрытой одежде, а по окончании рабочего дня в общежитии осмотреться. При обнаружении следов укуса клещом следует немедленно обратиться в больницу.

4. Не разрешается использовать для питья некипяченую воду, воду из открытых источников. Купание в водоемах запрещено.

5. Во избежание хотя бы случайного толчка наблюдателя, смотрящего в зрительную трубу, не разрешается находиться кому-либо непосредственно сзади.

6. Не допускается наводить на солнце зрительные трубы геодезических инструментов без светофильтра.

7. При переноске вешек и штативов острые концы их должны быть направлены назад или вниз.

8. Категорически запрещается перебрасывать друг другу шпильки, вешки, топоры и другие предметы.

9. Нельзя с инструментом перелезать или перепрыгивать через препятствия.

10. В период работы на дорогах необходимо быть внимательными при переходе через них. При выполнении измерений вдоль дорог работающим с приборами нельзя размещаться на проезжей части дорог, а на дорогах с интенсивным движением – и на их обочинах.

11. Нельзя выполнять работы в опасной близости от строительных площадок или вблизи трансформаторных будок, газохранилищ, в сырую погоду вблизи линий электропередач.

12. Нельзя вести полевые работы, наступая или стоя на люках смотровых колодцев при установке реек или при измерениях рулеткой.

13. Запрещается разводить костры, рубить или ломать деревья, ветки деревьев, кустарники, вытаптывать посадки, засорять территорию.

Необходимо строго соблюдать технику безопасности как в процессе работы с геодезическими инструментами, так и во время передвижения по месту работы и к месту практики и обратно:

- штативы носить на плече, наконечниками вниз, сзади;
- при работе с мерной лентой во избежание пореза перемещать ее только за ручки;
- категорически запрещается раскладывать ножки штатива на весу, так как после откручивания зажимного винта нижняя половинка ножки может резко упасть вниз, травмируя острием колени или стопу;
- категорически запрещено оставлять без присмотра нивелирную рейку прислоненной к стенам, деревьям и т. д.;
- категорически запрещено смотреть в зрительную трубу на солнце;
- при перемещении по месту работ следить за состоянием поверхности земли во избежание травм;
- при длительной переноске прибор должен находиться в футляре и его необходимо предохранять от сильных толчков, ударов и падений во избежание разбьюстировки и поломок;

– не давать прибору намокнуть, при намокании прибора нужно дать ему высохнуть и только после этого можно протереть;

– разматывать землемерную ленту, не допуская образования петель; во время работы нельзя допускать переезда ленты автомашиной;

– при транспортировке и переноске реек нужно следить, чтобы острые предметы не повредили плоскость, на которую нанесены деления;

– нельзя бросать рейки и вешки и садиться на них, в местах установки инструмента их нужно держать на расстоянии не менее 4 м;

– следует строго соблюдать правила дорожного движения: дорогу переходить только в установленных местах под прямым углом, убедившись в отсутствии приближающегося транспорта на расстоянии не менее 100 м, при переходах с приборами следует передвигаться по левой стороне дороги навстречу движению транспорта.

На учебной практике по геодезии студенты прорубают визиры, изготавливают и устанавливают кольшки и сторожки. При этом необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда.

Перед началом работ следует проверить исправность инструментов, работать неисправным инструментом запрещается. Топоры, лопаты и молотки должны быть плотно насажены на рукоятки с расклиниванием металлическими клиньями. Рукоятки не должны иметь заусениц и трещин.

На переходах режущие части инструментов должны быть закрыты. Топоры разрешается переносить в руке, причем топор держится рукояткой (топорищем) вниз, а режущая часть обращена вперед. Другие способы переноски топора (за поясом, на плече и др.) категорически ЗАПРЕЩАЮТСЯ. Для предотвращения ранения лица ветвями не рекомендуется в лесу идти друг за другом на расстоянии ближе 2 м.

Мерную ленту и шпильки разрешается переносить только в руке.

При изготовлении кольшковых и сторожковых нужно заострять их на твердом устойчивом предмете. Нельзя затачивать, прислонив их к стволу растущего дерева, так как при этом можно поранить руку топором и повредить дерево. Забивать кольшки и сторожки нужно обухом топора, держа лезвием в сторону.

Охрана окружающей среды. В целях пожарной безопасности в лесу запрещается разжигать костры и курить на ходу, бросать горящие спички и окурки. Курить разрешается только на остановках,

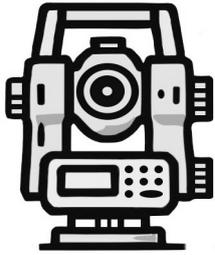
в отдельном месте от остальных членов бригады, для этого необходимо подготовить место, т. е. снять подстилку до минерального слоя, куда стряхивать пепел с горячей сигареты, а по окончании курения положить окурок и прижать ногой.

В случае обнаружения в лесу пожара необходимо принять меры к тушению и сообщить преподавателю или работнику лесной охраны. Чтобы не заблудиться в лесу, необходимо тщательно ознакомиться со схемой лесничества и квартальной сетью.

Запрещается ходить и выполнять работы на газонах, в огородах и посадках различных культур.

Недопустимо засорять водоемы и территорию, где проходит практика. Бумага, целлофановые пакеты, бутылки, остатки пищи и т. п. должны быть убраны и выброшены в мусорные ящики.

После завершения работ все колышки и сторожки на территории студгородка и прилегающих к ним зон должны быть извлечены из земли.



ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Подготовительные работы на учебной практике включают: изучение устройства теодолита и его поверки; компарирование мерной ленты (рулетки); тренировочные измерения; заготовку кольшков и сторожков; получение задания от руководителя практики.

1.1. Устройство теодолита и его поверки

На практике студенты выполняют теодолитную (горизонтальную) съемку теодолитом 2Т30 (Т30), предназначенным для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных ходах, измерения расстояний с помощью нитяного дальномера, определения магнитных азимутов по ориентир-буссоли. Составные части теодолита приводятся на рис. 1.1.

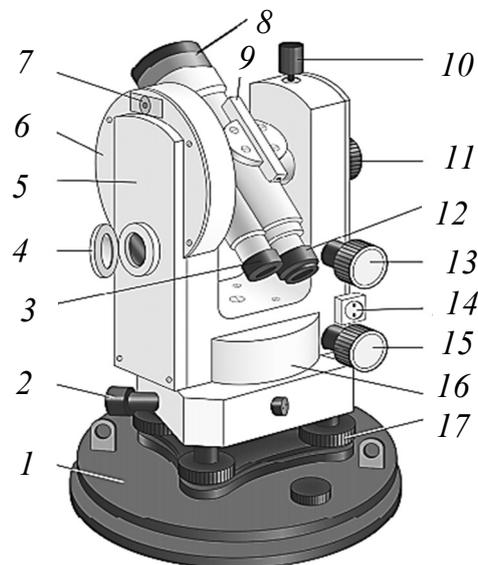


Рис. 1.1. Теодолит 2Т30 (Т30) и его основные конструктивные элементы:
1 – основание подставки (футляра); 2 – наводящий винт лимба; 3 – окуляр микроскопа; 4 – зеркало иллюминатора для подсветки оптической системы внутри теодолита; 5 – колонка; 6 – вертикальный круг; 7 – паз для крепления ориентир-буссоли; 8 – зрительная труба; 9 – визир; 10 – закрепительный винт зрительной трубы; 11 – кремальера; 12 – окуляр зрительной трубы; 13 – наводящий винт зрительной трубы; 14 – исправительный винт уровня при алидаде горизонтального круга; 15 – наводящий винт алидады горизонтального круга; 16 – корпус горизонтального круга; 17 – подъемные винты

Существует несколько видов *отсчетных приспособлений теодолитов*: штриховой микроскоп, применяемый в теодолитах Т30, и шкаловый микроскоп в теодолитах 2Т30. Отсчеты снимают при наведении перекрестия сетки нитей на цель (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Сетка нитей зрительной трубы теодолитов Т30 (2Т30)

Штриховой микроскоп. Отсчетным индексом в штриховом микроскопе является неподвижный штрих, выгравированный на стеклянной пластине (алидаде). Отсчетное приспособление через систему призм и линз выводит в окуляр изображения градусных делений горизонтального и вертикального кругов. *Цена деления лимба в теодолите Т30 составляет 10'.* Буква **В** обозначает, что сверху расположены значения вертикального круга, а буква **Г** – что снизу находятся деления горизонтального круга.

Вид поля зрения штрихового микроскопа показан на рис. 1.3.

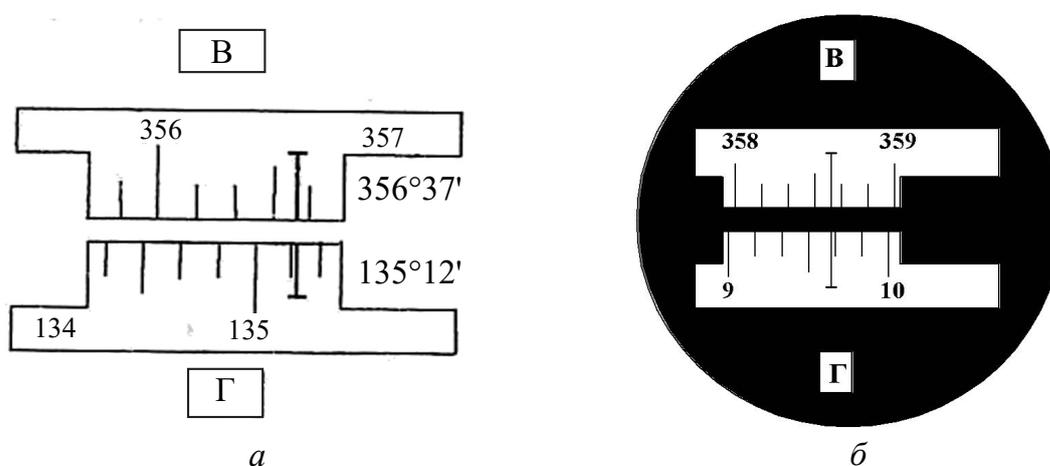


Рис. 1.3. Примеры (а, б) штриховой системы отсчетов теодолита Т30

Отсчет снимают следующим образом:

1) определяется ближайшее число, расположенное *левее* отчетного штриха – это будет количество градусов;

2) затем подсчитывается количество целых делений от данного штриха с градусами до отчетного штриха и умножается на 10 – это будет количество минут в десятках;

3) оставшееся нецелое деление до штриха мысленно разбивается на 10 частей и определяется, сколько минут попало в нецелую область деления.

В первом случае (рис. 1.3, *а*) отсчет по горизонтальному кругу равен $135^{\circ}12'$ ($135^{\circ} + 10' + 2'$), по вертикальному – $356^{\circ}37'$ ($356^{\circ} + 30' + 7'$), во втором случае (рис. 1.3, *б*) отсчет по горизонтальному кругу равен $9^{\circ}39'$ ($9^{\circ} + 30' + 9'$), по вертикальному – $358^{\circ}37'$ ($358^{\circ} + 30' + 7'$).

Шкаловый микроскоп. В верхней части поля зрения микроскопа, обозначенной буквой **В** (рис. 1.4), видны штрихи лимба вертикального круга и штрихи отчетной шкалы, а в нижней части, обозначенной буквой **Г**, – штрихи лимба горизонтального круга и штрихи отчетной шкалы.

На обоих кругах нанесены только градусные штрихи. Каждый градусный штрих подписан. Цена деления лимбов составляет 1° . На алидаде кругов (2Т30) нанесены *отсчетные шкалы с ценой деления $5'$* . Эти шкалы выведены в поле зрения микроскопа.

Начальное деление шкалы горизонтального круга обозначено цифрой 0 (обозначает $0'$), а конечное – цифрой 6, что означает $60'$.

При отсчитывании по вертикальному кругу следует помнить, что шкала микроскопа вертикального круга имеет двойную оцифровку ($0-6$ и $(-6)-(-0)$):

– если у градусного деления вертикального лимба нет знака, для отсчета по шкале микроскопа используется *положительная* оцифровка – *слева направо* (от 0 до 6);

– если у градусного деления знак «минус», то для отсчета по шкале используется *отрицательная* оцифровка – *справа налево* (от -0 до -6).

Отсчет по горизонтальному кругу производится в следующем порядке (рис. 1.4):

1) определяется, какое целое число градусов (длинный штрих лимба, попадающий на отчетную шкалу) находится между значениями $0-6$, – это и будет целое значение градусов;

2) затем подсчитывают минуты – слева направо от нуля по отчетной шкале: сначала целые сегменты делений по $5'$ каждый (например, 5, 10, 15, 20 и т. д.);

3) последний сегмент деления до штриха с градусами мысленно делится на 5 частей и по ним определяются оставшиеся минуты с точностью до 1'.

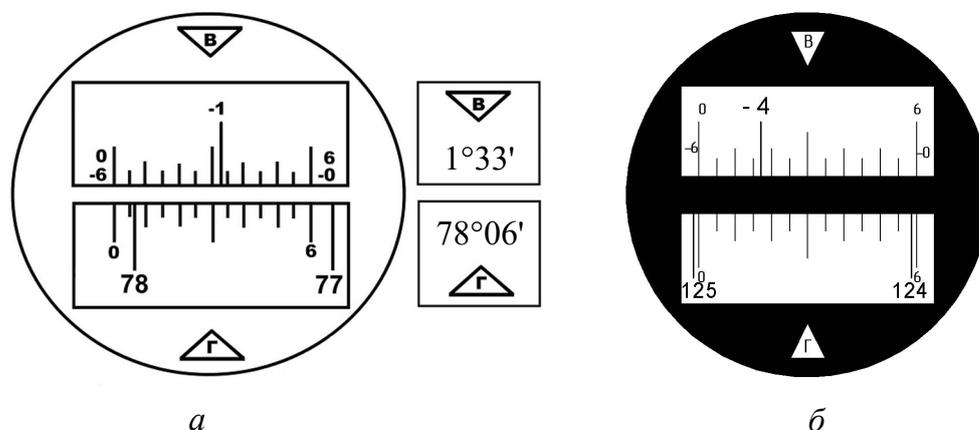


Рис. 1.4. Примеры (а, б) поля зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30П

Отсчет по горизонтальному кругу в первом случае (рис. 1.4, а) равен $78^{\circ}06'$ ($78^{\circ} + 5' + 1'$), во втором случае (рис. 1.4, б) – $124^{\circ}58'$ ($124^{\circ} + 55' + 3'$).

Отсчет по вертикальному кругу производится немного иначе (рис. 1.4) – надо обязательно смотреть на значение градусов (*положительное* или *отрицательное*), которое попадает на шкалу делений:

– на рис. 1.4, а значение градуса (1°) *положительное*, поэтому отсчет минутных значений будет производиться *в направлении от 0 к 6* (слева направо) и будет равен $1^{\circ}33'$ ($1^{\circ} + 30' + 3'$);

– на рис. 1.4, б значение градуса *отрицательное* (-4°), поэтому отсчет минут будет начинаться *от -0 в направлении -6* (справа налево). Отсчет в итоге составит $-4^{\circ}43'$ ($-4^{\circ} + (-40') + (-3')$).

1.1.1. Поверки теодолита

Поверками называются действия по установлению правильности приведения осей к нужным сопряжениям и исправлению (юстировке) в случае их нарушения. Поверки и, если необходимо, юстировки следует проводить систематически.

Поверка № 1. *Ось цилиндрического уровня горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита.* Порядок действий (рис. 1.5):

1) вращением алидады расположить уровень при ней параллельно двум (любым) подъемным винтам подставки теодолита (рис. 1.5, а);

2) вращая эти винты (предпочтительно в разные стороны), привести пузырек уровня в нуль-пункт (рис. 1.5, а);

3) повернуть алидаду на 90° (на глаз) и вращением третьего (предыдущие два винта не трогать) подъемного винта (рис. 1.5, б) вновь привести пузырек уровня в нуль-пункт;

4) повернуть алидаду от этого положения на 180° (рис. 1.5, в). Если пузырек отклонится от нуль-пункта более чем на одно деление шкалы ампулы, то прибор не прошел поверку. В этом случае желательно для надежности повторить поверку заново. Если при повторной поверке результат окажется аналогичным, нужно выполнить юстировку уровня.

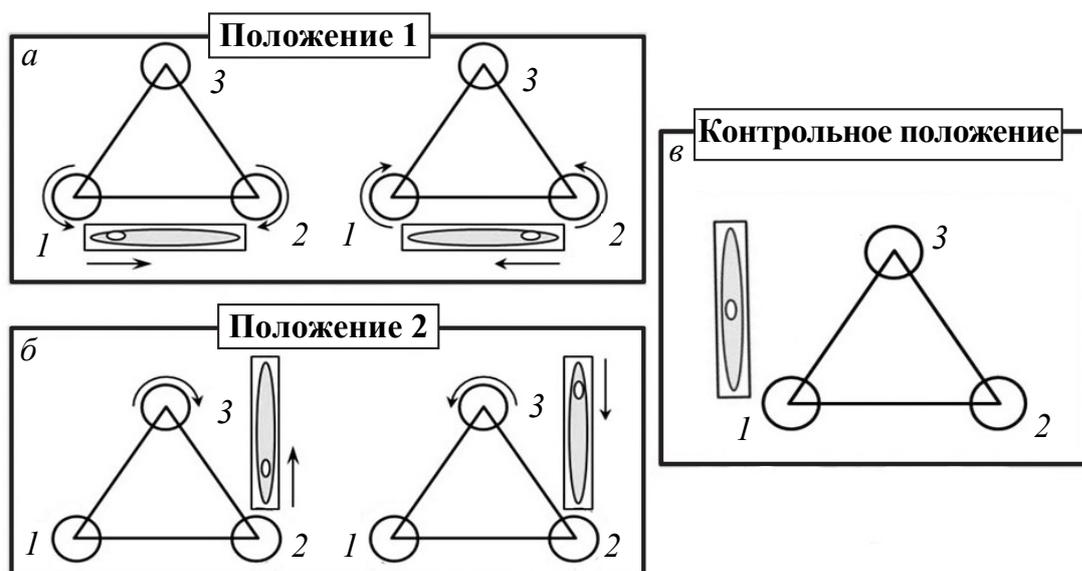


Рис. 1.5. Схема поверки № 1 уровня теодолита:
1, 2, 3 – подъемные винты подставки теодолита

Юстировка выполняется преподавателем (рис. 1.6). Для этого с помощью подъемных винтов перемещают пузырек на половину дуги отклонения, после чего юстировочными винтами уровня приводят его на середину. Затем повторяют действия 1–4 поверки № 1.

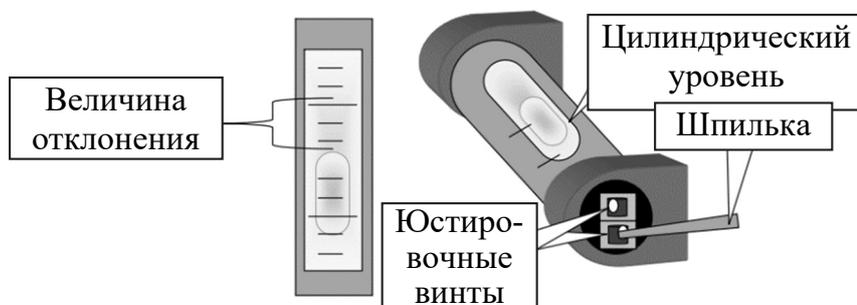


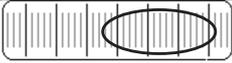
Рис. 1.6. Юстировка поверки уровня теодолита

Важно! Эту поверку выполняют на каждой станции и повторяют ее до тех пор, пока пузырек не останется на середине ± 1 деление при повороте теодолита на 180° .

Результаты выполнения поверки цилиндрического уровня теодолита необходимо представить в отчете в виде табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты поверки цилиндрического уровня теодолита

Номер определения	Число делений отклонения пузырька после поворота на 180° (указать)	Результат поверки
1	3 	Не пройдена
2	1 	Пройдена

Поверка № 2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы (определение коллимационной погрешности). Порядок действий:

1) выбрать (или отметить) на сооружении или строении точку, удаленную не менее чем на 50 м, приблизительно на высоте, равной высоте прибора;

2) навести пересечение сетки нитей зрительной трубы при положении теодолита «круг слева» (КЛ) на данную точку;

3) закрепить алидаду и зрительную трубу, регулируя ее наводящими винтами (при необходимости) для более точного совпадения при наведении на точку, взять отсчет по горизонтальному кругу (рис. 1.7, а) и занести в дневник практики бригадира (КЛ);

4) перевести трубу через зенит, вновь навести перекрестие сетки нитей зрительной трубы на ту же точку, но при положении теодолита «круг справа» (КП);

5) закрепить алидаду и зрительную трубу, регулируя ее наводящими винтами (при необходимости) для более точного совпадения при наведении на ту же точку, снять отсчет по горизонтальному кругу (рис. 1.7, б) и занести в дневник практики бригадира (КП);

б) вычислить коллимационную погрешность (С) по формуле

$$C = \frac{КЛ - КП \pm 180^\circ}{2}. \quad (1.1)$$

Если величина коллимационной погрешности *не превышает по модулю $2'$* , то условие выполнено и прибор прошел данную поверку, если нет – выполняют исправление (юстировку). Результаты выполнения поверки необходимо записать в табл. 1.2.

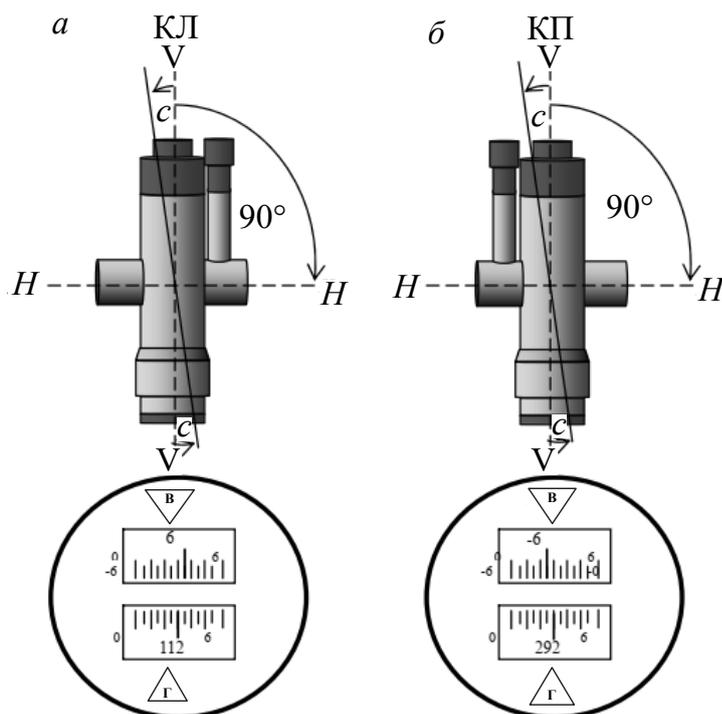


Рис. 1.7. Схема поверки № 2 теодолита

Таблица 1.2

Поверка визирной оси теодолита

Номер определения	Отсчеты по горизонтальному кругу		Значение погрешности	Результат поверки
	КЛ	КП		
1	6°10'	186°08'	$C = 1'$	Пройдена
2	12°15'	192°14'	$C = 0,5'$	Пройдена

Юстировка производится в мастерской или преподавателем.

Поверка № 3. Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения алидады теодолита. Порядок действий:

1) от стены на расстоянии 5–20 м установить теодолит в рабочее состояние и на высоте 5–15 м выбрать точку, например точку *A* (рис. 1.8, *a*);

2) после этого зрительную трубу привести в нулевое положение (отсчет по вертикальному кругу 0°00') и отметить на стене проекцию перекрестия сетки нитей, например точку *B* (рис. 1.8, *a*);

3) затем зрительную трубу перевести через зенит (поменять круг слева на круг справа) и опять навести на точку, которая была выбрана первоначально (точка *A* на рис. 1.8, *b*), а на стене при нулевом положении отметить вторую проекцию перекрестия сетки нитей;

4) если намеченные на стене точки совпадают, то исправление не требуется: прибор прошел поверку.

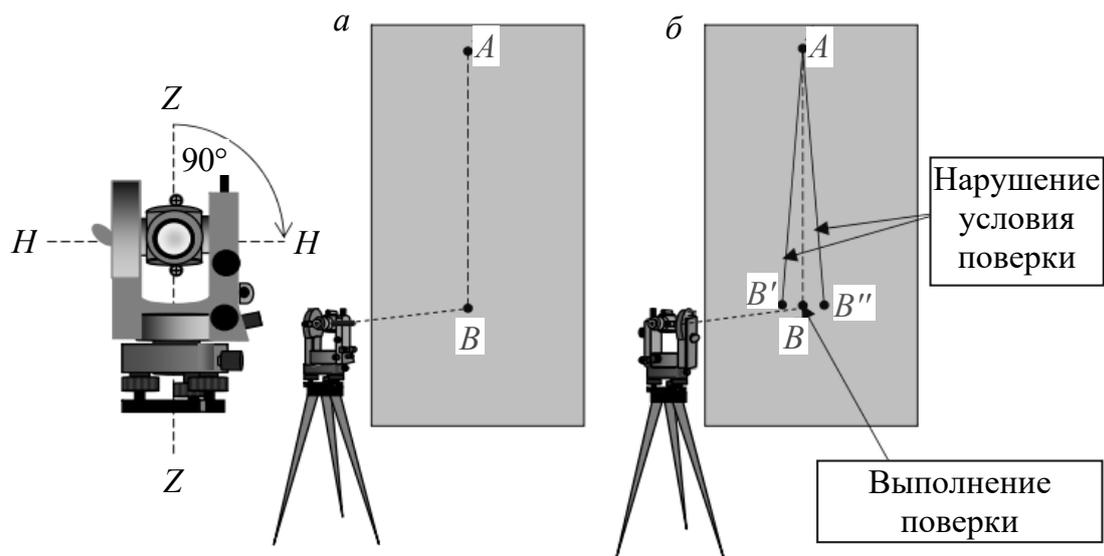


Рис. 1.8. Схема поверки № 3 теодолита

В противном случае образуются отклонения от линии влево (B') или вправо (B'') и прибор требует юстировки, которая производится только в мастерской. Результаты выполнения поверки записываются в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Поверка горизонтальной оси теодолита

Номер определения	Расположение точки (указать)	Результат поверки
1		Пройдена

Поверка № 4. Вертикальная нить сетки зрительной трубы должна совпадать с отвесной линией (или быть перпендикулярна оси ее вращения). Порядок действий:

- 1) навести вертикальную нить сетки зрительной трубы на хорошо видимую точку A (рис. 1.9, a);
- 2) наводящим винтом сместить ее вверх по высоте (рис. 1.9, b);
- 3) если при этом изображение точки остается на вертикальной нити сетки нитей и не выходит за границы биссектора, то условие выполняется – прибор исправен и прошел поверку.

Если изображение точки не совпадает с вертикальной нитью, нужно выполнить юстировку – ослабить исправительные винты сетки нитей и развернуть ее в нужном направлении. Результаты выполнения поверки необходимо записать в табл. 1.4.

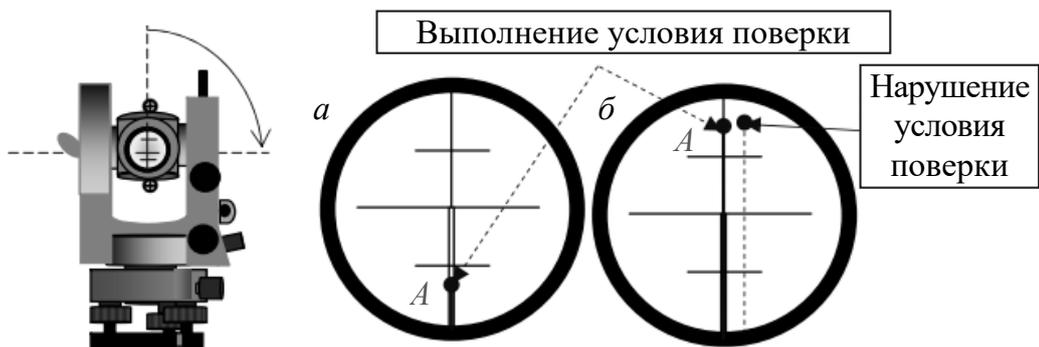


Рис. 1.9. Схема поверки № 4 теодолита

Таблица 1.4

Поверка сетки нитей теодолита

Номер определения	Расположение точки (указать)	Результат поверки
1		Пройдена

На данном этапе после проведения всех поверок прибор признается исправным и готовым к проведению измерений. Существуют также дополнительные специальные поверки теодолита, которые будут рассмотрены в соответствующем разделе.

1.1.2. Техника измерения горизонтального угла

Технология предусматривает оптимальное участие 4 студентов из бригады (2 человека с вешками, один измеряет и один записывает значения). Перед измерением горизонтального угла теодолитом (рис. 1.10) его устанавливают на станции (в вершине измеряемого угла, на начальной точке измеряемой линии и т. д.) в рабочее положение, а на двух смежных вершинах устанавливают вешки (вехи) – это деревянные черенки длиной 1,5–2 м, окрашенные через 20 см в красный и белый цвет (рис. 1.11), которые указывают размещение соответствующих вершин.

Важно! Вешки забиваются в землю за кольшком или перед ним по направлению оси визирования теодолита либо устанавливаются и удерживаются на указателе вершины угла (например, на кольшке), при этом установщик вешек становится за вешкой и поддерживает ее в вертикальном положении, одновременно позволяя более быстро обнаружить вешку в зрительную трубу теодолита.

Приведение прибора в рабочее положение. Установка теодолита в рабочее положение состоит из *центрирования прибора, горизонтирования его и фокусирования зрительной трубы.*

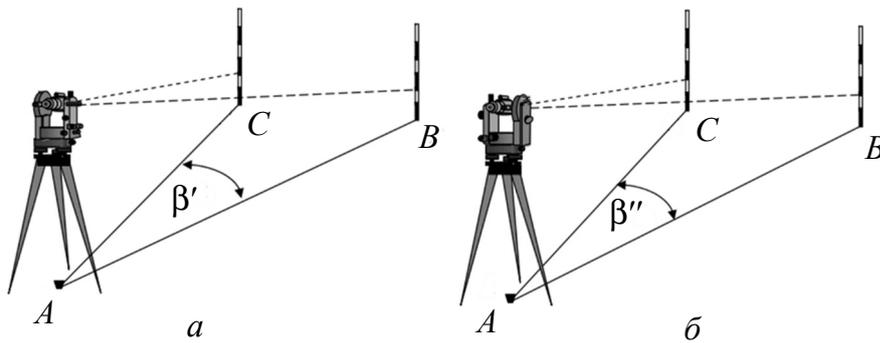


Рис. 1.10. Схема измерения горизонтального угла:
а – круг слева; б – круг справа



Рис. 1.11.
Вешка (веха)

1. *Центрирование теодолита* – установка вертикальной оси прибора над вершиной измеряемого угла. Выполняют с помощью отвеса. Для этого сначала ставят штатив так, чтобы центр подставки был примерно над нужной точкой, а плоскость головки – горизонтальна. Только после этого к штативу прикрепляют теодолит. От точности центровки прибора зависит точность измерения углов, которая регламентируется соответствующими инструкциями. С помощью отвеса можно выполнить центрирование теодолита с точностью 0,3 см. Для этого устанавливают теодолит примерно над точкой (рис. 1.12) хода, а затем передвигают основание подставки на штативе до точного совпадения острия отвеса с точкой (кольшком) и зажимают становой винт (рис. 1.12).

Центрирование теодолита можно также выполнить с помощью оптического центрира.

Стоит также отметить, что визировать при измерении угла нужно на основание вешки для уменьшения погрешности измерений (рис. 1.13).

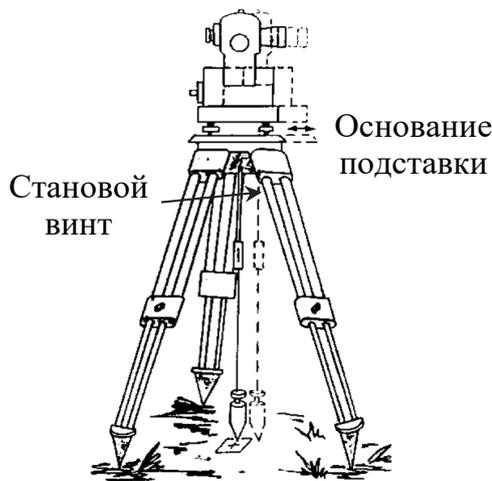


Рис. 1.12. Установка штатива над точкой

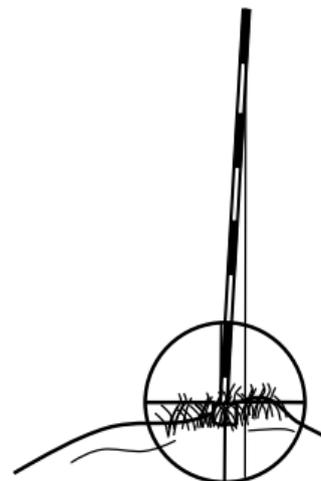


Рис. 1.13. Визирование на вешку

2. *Горизонтирование теодолита* – приведение вертикальной оси прибора в отвесное положение. Выполняется с помощью цилиндрического уровня на алидаде (фактически выполняется поверка № 1).

Размещают уровень между двумя подъемными винтами (рис. 1.14, 1-е положение) и выводят его на середину. После этого поворачивают алидаду горизонтального круга так, чтобы уровень стал в направлении третьего подъемного винта (рис. 1.14, 2-е положение) и только этим винтом приводят пузырек уровня на середину. При повороте на 180° пузырек уровня не должен отклониться от нуля-пункта не более чем на одно-два деления. Такие действия повторяют несколько раз, пока пузырек уровня не будет смещаться не более чем на 2 деления при любом положении алидады.

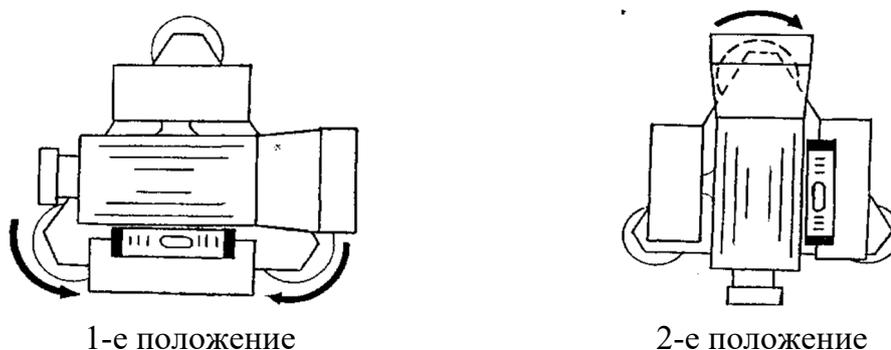


Рис. 1.14. Горизонтирование теодолита

3. *Фокусирование зрительной трубы* заключается в отчетливой видимости сетки нитей и объектов местности. Выполняется вращением окуляра зрительной трубы и фокусирующего винта зрительной трубы.

Измерение горизонтального угла. Измерение горизонтального угла выполняют способом приемов. Прием состоит из двух полу-приемов – КЛ (круг слева) и КП (круг справа). Работу начинают с установки теодолита над центром указателя (например, колышка), закрепляющим вершину угла.

Программа измерения правого по ходу горизонтального угла способом приемов следующая.

1. Закрепляют горизонтальный круг теодолита на весь цикл действий при первом полуприеме.

2. Отпускают зажимной винт верхней (алидадной) части теодолита и зажимной винт зрительной трубы, визируют на заднюю вешку, зажимают оба этих винта, окончательно наводят центр визирной сетки *на основание* вешки (рис. 1.13), берут отсчет по горизонтальному кругу и записывают его величину – $3'$.

Аналогично визируют на переднюю вешку, записывают отсчет Π' , потом вычисляют горизонтальный угол по формуле

$$\beta' = 3' - \Pi'. \quad (1.2)$$

Эти действия составляют первый полуприем измерений.

3. Зрительную трубу переводят через зенит (т. е. изменяют рабочее положение теодолита), поворачивают верхнюю часть теодолита зрительной трубой в направлении заднего пункта (желательно горизонтальный круг поворачивать на $2-5^\circ$, делая 1–2 оборота наводящего винта, который закреплен на подставке теодолита).

4. Повторяют визирование на вешки заднего и переднего пунктов в той же последовательности (см. п. 2), записывают отсчеты $3''$ и Π'' . Вычисляют угол β'' : $\beta'' = 3'' - \Pi''$, чем и завершают второй полуприем измерения горизонтального угла.

Примечание. Если $3 < \Pi$, то к отсчету 3 добавляют 360° .

5. Если разность β' и β'' не более $2'$, то вычисляют среднее значение горизонтального угла как среднеарифметическое между двумя полуприемами: $\beta_{\text{ср}} = (\beta' + \beta'') / 2$, которое принимают за результат измерения. Таким образом, полный прием измерений горизонтального угла способом приемов считается выполненным. Результаты измерений горизонтальных углов заносятся в «Журнал измерения горизонтальных углов и длин линий».

Для тренировки измерений углов закладывается *пробный тренировочный теодолитный ход*. Разбивается треугольник с расположением вершин на расстоянии 40–60 м друг от друга, которые закрепляются в земле кольшками и сторожками. Измеряются горизонтальные углы методом полуприемов и расстояния, результаты заносятся в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Журнал измерения горизонтальных углов способом полуприемов

Номер станции	Круг	Номер точки	Отсчет по горизонтальному кругу	Разность отсчетов: $\beta' = 3' - \Pi'$; $\beta'' = 3'' - \Pi''$	Горизонтальный угол $\beta_{\text{ср}}$	Горизонтальное проложение, м	Абрис
1	П	3	220°40'	76°40'	76°40'	—	
	П	2	144°00'				
	Л	3	40°40'	76°40'		50,32	
	Л	2	324°00'			50,30	
2	П	1	256°41'	52°6'	52°7'	—	
	П	3	204°35'				
	Л	1	76°42'	52°8'		58,46	
	Л	3	24°34'				

Номер станции	Круг	Номер точки	Отсчет по горизонтальному кругу	Разность отсчетов: $\beta' = 3' - \Pi'$; $\beta'' = 3'' - \Pi''$	Горизонтальный угол $\beta_{\text{ср}}$	Горизонтальное проложение, м	Абрис
3	П	2	62°28'	51°13'	51°13,5'	58,45	
	П	1	11°15'				
	Л	2	242°30'	51°14'		–	
	Л	1	191°16'			60,84	
–	–	–	$f_{\beta} = 0^{\circ}0,5'$	$\sum\beta' = 180^{\circ}0,5'$	60,81		
	–	–	$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 2'$	$\sum\beta_{\text{теор}} = 180^{\circ}00'$			

1.2. Землемерные ленты, рулетки

Расстояния в геодезии измеряют мерными приборами и дальномерами. Мерными приборами называют ленты, рулетки, инварные ленты (проволоки). При измерении расстояния их укладывают в створе измеряемой линии.

Мерная лента – это стальная полоса длиной 20 м, шириной 15–20 мм и толщиной 0,4–0,6 мм (рис. 1.15). По конструкции они различаются на штриховые (рис. 1.15, а) и шкаловые (рис. 1.15, б). Для измерений к ленте (рулетке) прилагается комплект из 6 (или 11) шпильек (рис. 1.15, в).

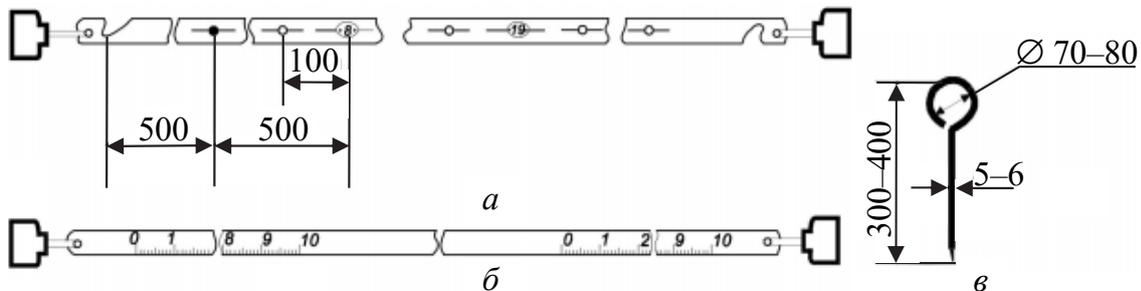


Рис. 1.15. Мерные ленты (а – штриховая, б – шкаловая) и шпильки (в)

Достоинство лент и рулеток – простота устройства и эксплуатации. Недостаток – большая трудоемкость при измерении длинных линий, определяемая необходимостью подготовки трассы, измерения углов наклона отдельных участков.

1.2.1. Компарирование землемерных лент

Перед началом полевых работ по измерению длин линий землемерные ленты и рулетки следует проверить – прокомпарировать (рис. 1.16).



Рис. 1.16. Компарирование землемерных лент (рулеток)

Компарированием называется процесс сравнения фактической (рабочей) длины мерного прибора с нормальной, т. е. с длиной, которая известна точно (эталон). Компарирование (эталонирование) выполняют на полевых или лабораторных компараторах, а также путем непосредственного сравнения (рис. 1.16) на местности рабочей и нормальной мер (длина которой известна с высокой точностью).

В производственных условиях мерные приборы чаще всего компарируют на полевых компараторах. Они представляют собой выровненные участки местности с твердой поверхностью. Концы компаратора закрепляют знаками со специальными метками, расстояние между которыми известно с большой точностью. Уложение ленты или рулетки ведут в прямом и обратном направлениях. Если длина 20-метровой ленты отличается от истинной более чем на ± 2 мм (1 мм на 10 м длины), то при измерении расстояний следует вводить поправку на компарирование по формуле

$$\Delta l_k = \frac{l_0 - l_\Sigma}{n}, \quad (1.3)$$

где l_0 – длина полевого компаратора; l_Σ – длина компаратора, измеренная рабочим прибором; n – число отложений мерного прибора при измерении компаратора.

1.2.2. Техника измерения расстояний

Подготовительные работы при измерении расстояний. Измерение длин линий производится путем последовательной укладки ленты (или рулетки) между закрепленными на местности точками. Перед измерением линию необходимо подготовить – расчистить от кустарника, высокой травы. В процессе измерений лента должна укладываться в *створе* (отвесная плоскость, проходящая через конечные точки линии). Створ линии указывается на местности с помощью вешек, которые устанавливаются в конечных точках этой линии (рис. 1.17, 1.18, а).

Если длина линии между точками превышает 100–200 м, то в створе линии выставляют дополнительные вешки, что ограничивает отклонение от створа при измерениях. Установка в створе измеряемой линии дополнительных веш называется *провешиванием* линии (рис. 1.17). Вешение производят инструментально или глазомерно двумя способами – «от себя» и «на себя», причем второй способ является более предпочтительным с точки зрения удобства работ, так как в этом случае ранее установленные вешки не перекрывают обзор, и дает более точные результаты.



Рис. 1.17. Установка вешек при разных схемах провешивания линии

Установка промежуточных точек в створе прямой линии производится, как правило, двумя замерщиками: *наблюдателем* и *помощником*.

При наличии взаимной видимости между конечными точками провешивание «на себя» выполняется так: наблюдатель становится в 2–3 шагах от вешки A, а помощник – на необходимом расстоянии от вешки B в створе провешиваемой линии (например, в точке C, т. е. установка начинается с дальнего конца линии) и смотрит вдоль створа линии (рис. 1.18, а), чтобы ближняя вешка закрывала дальнюю.

Его помощник на вытянутой руке по сигналам наблюдателя выставляет и затем закрепляет в створе линии промежуточные вехи. О необходимости перемещения вехи вправо или влево при ее установке, пока она точно не станет в створе линии, наблюдатель показывает рукой (или голосом). Помощник должен ставить и закреплять вехи отвесно, контролируя положение основания вешки, которое тоже должно быть в створе.

После установки всех вешек наблюдатель контролирует створ, причем в необходимых случаях положение вешки может быть изменено. Провешивание линии через естественные препятствия (овраг, холм) имеет свои характерные особенности.

Техника измерения расстояний. Для измерений длин линий при создании геодезического обоснования применяют стальную 20-метровую ленту ЛЗ-20 или рулетку. Работы выполняют два замерщика (рис. 1.18, б) – *передний* и *задний* (направляющий и ведущий записи измерений).

В комплект ленты входят 6 (или 11) стальных шпилек (см. рис. 1.15, в) на кольце для фиксации концов ленты. Ленту аккуратно разматывают в направлении измеряемого отрезка линии (*максимальное значение* на ленте должно быть обращено к концу отрезка этой линии).

Передний замерщик в начале измерения берет 5 шпилек, а у заднего остается одна шпилька и кольцо для шпилек.

Задний замерщик втыкает вертикально шпильку (рис. 1.18, б) в землю рядом с колышком напротив его центра в начале измеряемого отрезка. Фиксирует ленту, зацепляя ее за шпильку вырезом, убедившись, что подписи метровых делений возрастают в направлении переднего ее конца, и прижимает ногой за ручку (или рукой) ленту к земле. Передний замерщик тянет ленту за ручку правой рукой, стараясь попасть в створ линии, а в левой находятся 5 оставшихся шпилек.

Задний замерщик корректирует точность движения переднего в створе, т. е. строго по направлению (рис. 18, в) на переднюю вешку, пока не закончится длина ленты. *По команде (рукой)* заднего замерщика передний смещает конец ленты (понемному влево или вправо) до положения створа линии (рис. 1.18). *Встряхивая ленту и натягивая ее*, он фиксирует конец ленты шпилькой, вставляя ее в вырез и «ввинчивая» в землю.

Важно! *Лента должна лежать точно в створе. При снятии отсчета она должна быть натянута, не иметь прогибов (для устранения которых ленту встряхивают и натягивают с силой 10 кг) и перегибов, если есть препятствие, то лента должна натягиваться поверх препятствия горизонтально над земной поверхностью.*

Передний замерщик подает команду заднему об окончании действий по откладыванию первой длины ленты, и тот вынимает шпильку и надевает на кольцо.

Затем передний замерщик снимает ленту со шпильки, которая остается в земле, и идет по направлению измерения линии на длину ленты l , держа ее за ручку, а второй замерщик корректирует направление его движения, сам идя к воткнутой в землю шпильке.

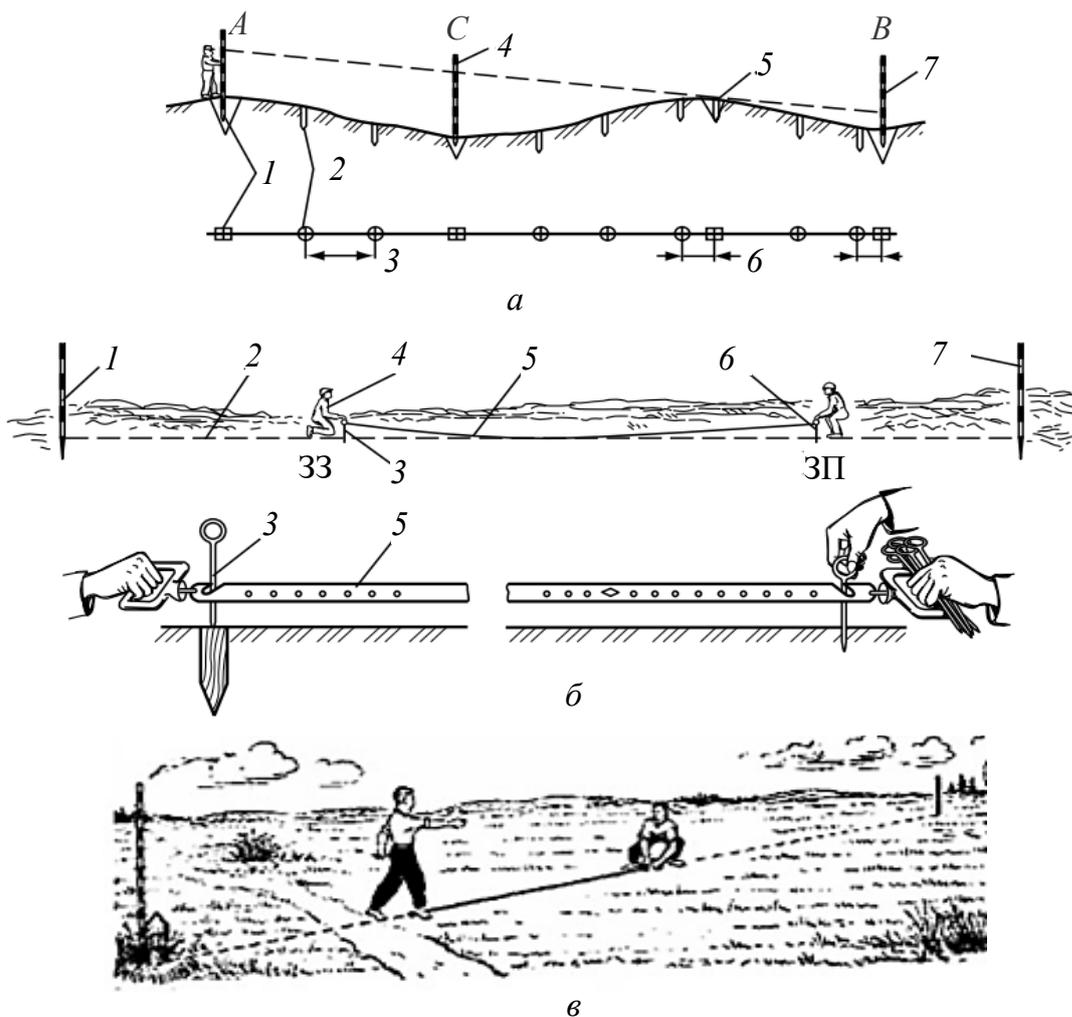


Рис. 1.18. Провешение линий и измерение расстояний:
a – профиль и план створа: 1, 4, 7 – вехи; 2 – шпильки; 3, 6 – замеры;
 5 – землемерная лента; *б* – измерение линии: 1, 7 – вехи; 2, 5 – мерная лента;
 3, 6 – шпильки; 4 – мерщик; *в* – корректировка створа;
 ЗЗ – замерщик задний; ЗП – замерщик передний

Такое откладывание ленты в створе измеряемой линии продолжают, пока у переднего замерщика не останется в руке ни одной шпильки, а у заднего на кольце не будет надето 5 шпилек. В этом случае выполняется передача шпилек от заднего замерщика к переднему, при этом число передач задний фиксирует в журнале измерений. Это значит, что измерен отрезок, равный $5l = 100$ м при $l = 20$ м.

Подойдя к концу измеряемого отрезка линии местности, измеряют остаток (r) – расстояние от заднего нулевого штриха ленты до центра знака точки *B* (число метров остатка определяют по оцифровке метровых интервалов – они нанесены на эллипсовидных заклепках, число дециметров считают по круглым отверстиям на ленте, число сантиметров оценивают на глаз как часть дециметрового интервала).

Полевой результат измерения вычисляется по формуле

$$D = n \cdot l + r, \quad (1.4)$$

где n – число отложений ленты до остатка r .

Расстояние измеряется дважды («прямо» и «обратно»). Допустимое расхождение ΔD первого и второго результатов D' и D'' определяется по их допустимой относительной погрешности, например $(\Delta D / D)_{\text{доп}} = 1 / 1000$ (для лесных съемок), при этом $\Delta D_{\text{доп}} = D / 1000$.

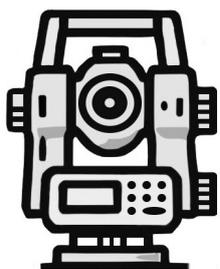
Если линия или ее часть расположены на наклонной поверхности, то измеряют угол наклона (v) и длину (D) соответствующего отрезка и определяют поправку на угол наклона по формуле

$$\Delta D_v = D \cdot (\cos v - 1). \quad (1.5)$$

Общая длина линии (горизонтальное проложение) при этом будет равна: $d = D + \Delta D_v$.

В теодолитном ходе поправка ΔD_v на угол наклона v отрезка линии учитывается при $v \geq 1,5^\circ$ (при лесных съемках $v \geq 4^\circ$) или при превышениях $h \geq 2,6$ м (7,0 м) на 100 м.

Результаты измерений между линиями заносятся в табл. 1.5.



День № 2

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

Совокупность геодезических измерений на земной поверхности для получения плана или карты (или цифровой модели местности) называют *съемкой*. Если по результатам съемки на плане получают положение ситуации, т. е. расположение контуров и предметов на местности, то съемку называют *горизонтальной*, или контурной. Если снимается рельеф, то *вертикальной*. Если снимается ситуация и рельеф, то съемку называют *топографической*, т. е. съемке и отображению на топографических планах подлежат все элементы ситуации местности, а также рельеф местности.

Получение *контурного плана местности* с помощью теодолита и мерной ленты или рулетки (или дальномера) называется *теодолитной съемкой*. На местности выбираются и закрепляются опорные точки, определяются их координаты, ведется съемка ситуации. Совокупность точек в виде теодолитных ходов называется *съемочным обоснованием*.

Для выполнения теодолитной съемки каждая бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: теодолит, штатив с отвесом, вешки – 2 шт., маркер, колышки и сторожки – по 20–30 шт., мерную ленту со шпильками, топор, журнал теодолитной съемки, тетрадь-дневник практики с ручкой и калькулятор.

Бригаде задается для съемки участок леса площадью не менее 2 га (масштаб съемки – 1 : 2000 – 1 : 500). Необходимо выполнить следующие работы: создание планового съемочного обоснования в виде замкнутого теодолитного хода и диагонального хода с привязкой к пунктам плановых геодезических сетей; применение способов съемки ситуации местности: прямоугольных и полярных координат, угловых и линейных засечек, створов, обмеров; составление по материалам съемки лесостроительного планшета; определение по плану площади участка местности в пределах замкнутого теодолитного хода.

Для выполнения теодолитной съемки требуется 3–4 студента из бригады для угловых измерений теодолитом и 2–3 человека для

линейных измерений лентой. Бригадой планируются и выполняются следующие *полевые работы*.

Рекогносцировка (детальное изучение участка местности, подлежащего съемке, в полевых условиях). В результате рекогносцировки отыскиваются на местности реперы, выбирается местоположение вершин теодолитного хода и составляется схема проектируемых теодолитных ходов, ориентированная на север.

Закрепление точек теодолитного хода. Происходит на геодезическом полигоне (прил. А) Негорельского учебно-опытного лесхоза, как правило, в виде замкнутого (рис. 2.1) или разомкнутого теодолитного хода. Число вершин (станций) зависит от количества человек (в среднем) в бригаде (по 2–3 точки на одного человека). Теодолитный ход намечается так, чтобы в нем измерялись правые по ходу углы, значит, нумерация вершин и измерения ведутся *по ходу часовой стрелки*.

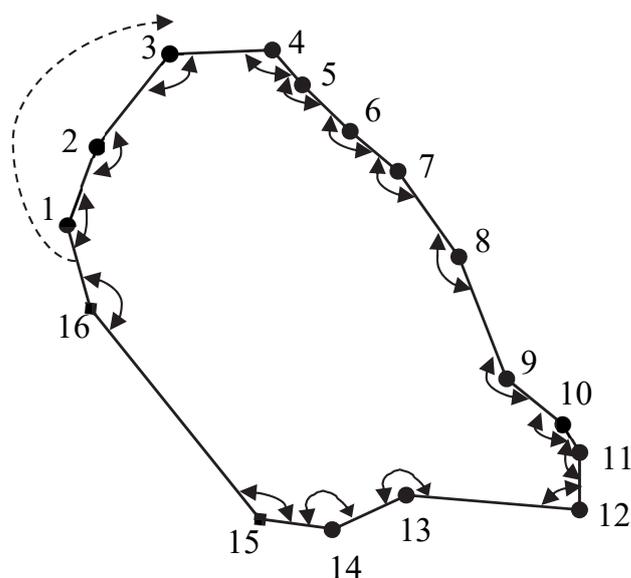


Рис. 2.1. Замкнутый теодолитный ход

Вершины углов поворота теодолитного хода (точки) намечаются со следующими условиями:

- расстояние между вершинами не менее 30 и не более 300 м;
- с каждой станции должна быть взаимная видимость на две соседних (на переднюю и заднюю по ходу);
- ходы предпочтительно прокладывать по замкнутому контуру снимаемого участка, по местам, удобным для производства линейных измерений (обочины дорог, тропинок, просек и т. д.);

– надежное закрепление точек поворотов кольшками со сторожками, на которых указывается номер точки;

– кольшки, обозначающие пункты полигона, должны забиваться в таком месте, чтобы можно было без затруднений не только поставить теодолит, но и работать с ним, а также измерить расстояния между точками мерной лентой (рулеткой).

Закрепление пунктов (вершин) теодолитного хода осуществляется деревянными кольшками длиной 10–15 см и опознавательными колами (сторожками) длиной 20–40 см (рис. 2.2), забитыми в землю, при этом они не должны ни создавать препятствий пешеходам и транспортным средствам, ни быть причиной поломки средств травкошения на местах покоса травы.

За центр пункта принимают центр деревянного кольшка, вбитого в землю так, чтобы над землей осталось не более 1 см его длины, при невозможности вбивания необходимо выполнить обваловку (рис. 2.2, а).

На расстоянии 20–30 см от кольшка делается окопка с помощью топора глубиной около 5 см в форме прямоугольника или квадрата (рис. 2.2, а). Пункты необходимо очистить от травы и в один из углов окопки (или по биссектрисе внутреннего угла) забить сторожок, желательно под наклоном (рис. 2.2, б), указывающим направление расположения следующей по ходу точки хода; высота сторожка над поверхностью земли должна быть 20–30 см.

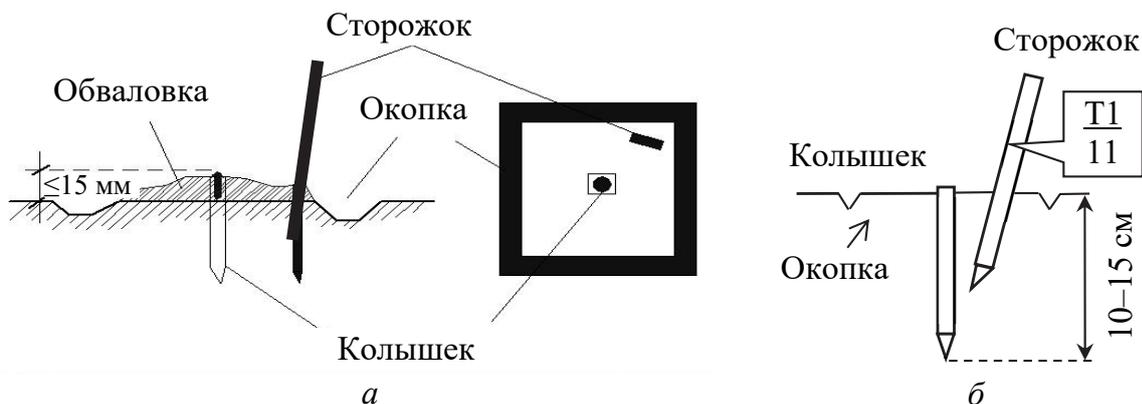


Рис. 2.2. Примеры (а, б) закрепления вершины (пунктов) теодолитного хода

Сторожки (рис. 2.2) ставят для обозначения пунктов, поэтому их можно выносить в людных местах за границы окопки туда, где более вероятна их сохранность (например, в заросли травы). На одной из граней кола со стороны кольшка (обращенной к точке, чтобы обеспечить лучшее визуальное нахождение и чтение) нужно подписать

номер пункта, номер бригады (группы): например, «1/11» или «Т1/11» (рис. 2.2, б), где Т – теодолитный (Д – диагональный, П – привязочный, Тх – тахеометрический) ход.

Измерение горизонтальных углов. Каждый угол измеряется двумя полуприемами (КЛ) и (КП) с разницей между ними *не более 2'*. Среднее значение угла из полуприемов округляется до 0,5'.

Важно! Обратите особое внимание на центрирование теодолита при помощи нитяного отвеса. При длинах сторон меньше 100 м погрешность центрирования не должна превышать 5 мм, т. е. отклонение острия отвеса от центра фиксированной точки (колышка) должно быть меньше 5 мм. Лучше потратить больше времени на центрирование, чем на повторное измерение всех горизонтальных углов при итоговой недопустимой невязке в полигоне.

Порядок измерения горизонтальных углов аналогичен их пробным измерениям (табл. 6):

- установка теодолита над вершиной измеряемого угла и приведение его в рабочее положение (точное центрирование и горизонтирование (рис. 2.3, а, б) – снижение погрешности; установка зрительной трубы для наблюдений);

- визирование на основания вех (для снижения вероятности возникновения погрешности (рис. 2.3, в) измерений) сначала на заднюю (предшествующую) точку, а затем на основание вешки последующей (передней) точки (так как измеряются правые по ходу углы);

- установка вешек на вершины смежных углов (держать строго вертикально на колышке или установить за колышком (рис. 2.3, г) либо за ним в створе по направлению к теодолиту);

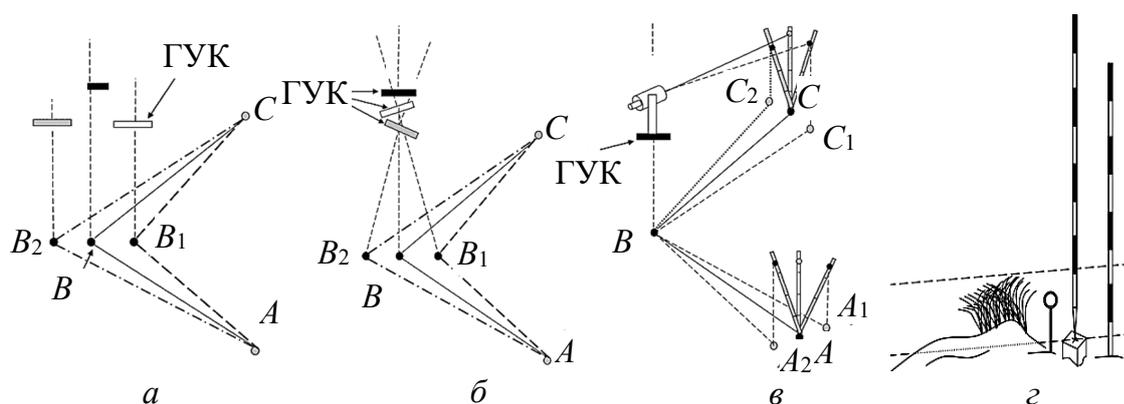


Рис. 2.3. Возможные погрешности при работе с теодолитом:

а – при центрировании; б – при горизонтировании;

в – при визировании на верх вешки; г – при визировании на низ вехи вне створа;

ГУК – плоскость лимба горизонтального угломерного круга теодолита

– снятие отсчетов с горизонтального круга сначала при одном полуприеме (например, КЛ), а затем при другом круге (например, КП) и занесение измерения в специальный геодезический журнал «Журнал измерения горизонтальных углов и длин линий» (рис. 2.4);

– контроль разности между полуприемами. Если он пройден, то можно снимать теодолит со станции и переходить на следующую.

Также при теодолитной съемке ведется *абрис* (рис. 2.4), который представляет собой схематичный чертеж съемки без учета масштаба.

№ п/п		20 г.		Наблюдение проводил		Записи вел		Длина, м					
от		до		час. мин.		час. мин.							
№ точки и станции	Круг	№ точки визирования	Отсчеты по горизонтальному кругу		Углы		Среднее из углов		Угол наклона	Магнитный азимут	№-№ точек	прямая обратная, м	Среднее, м
			°	'	°	'	°	'					
1	Л	Рп 29	143°10'										
	П	1	354°12'	148°	58'	148°	57,5'						
2	Л	Рп 29	323°09'	148°	57'	148°	57,5'						
	П	1	174°12'								1-2	60,44 60,48	60,46
3	Л	1	173°10'										
	П	3	19°30'	153°	40'	153°	40'						
4	Л	1	353°11'	153°	40'	153°	40'						
	П	3	199°31'								2-3	98,85 98,91	98,88
5	Л	2	210°58'										
	П	4	82°32'	128°	26'	128°	26'						
6	Л	2	30°58'	128°	26'	128°	26'						
	П	4	262°32'										
7	Л	3	34°16'										
	П	5	272°34'	121°	42'	121°	42,5'				3-4	113,71 113,79	113,75

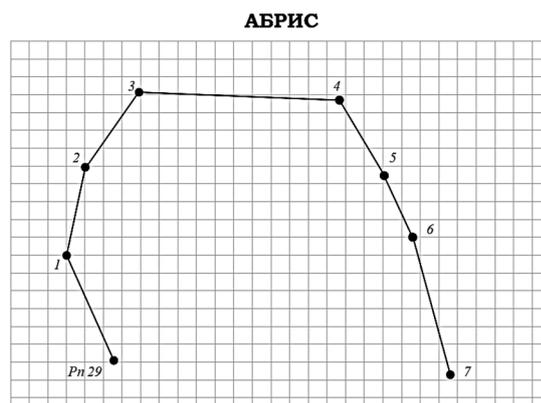


Рис. 2.4. Журнал измерения горизонтальных углов и длин линий (фрагмент)

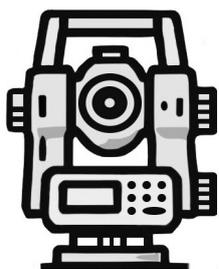
Измерение длин сторон. Обмер длин сторон в теодолитных ходах ведется, как правило, *параллельно* с измерениями горизонтальных углов. Перед измерением линия должна быть расчищена и проведена. Для измерения линий в полигонах и ходах применяют стальные землемерные ленты, рулетки, дальномеры и другие приборы, позволяющие измерять линии с относительной погрешностью не более 1/2000 (5 см на 100 м расстояния). Каждая сторона измеряется дважды: в *прямом* и *обратном* направлении. Разница между результатами измерений для лесных съемок допускается 10 см на 100 м длины (относительная погрешность 1/1000). При соблюдении этого условия рассчитывается среднее арифметическое значение длины линии с округлением до 0,01 м.

Примечание. Лучше организовать работу следующим образом. Одна тройка студентов измеряет длины линий в прямом направлении. Другая тройка (двойка), не зная результатов предыдущих измерений, измеряют в обратном направлении. Затем сверяют результаты измерений. Если расхождение в какой-либо линии больше допустимого, то повторно измеряют эту линию. Результаты измерений записывают в специальный геодезический журнал (рис. 2.4).

Важно! При измерениях углов и линий на общих участках местности соседние бригады должны обозначить свои вехи четкими отличительными знаками (листами бумаги, цветными лентами, другими метками) и проверить установку вешек строго на своих пунктах, обозначенных окопкой и сторожками, чтобы избежать установки на чужой пункт.

Измерение вертикальных углов. На сторонах теодолитного хода, имеющих наклон с крутизной ската более $1,5^\circ$ (превышение 2,6 м на 100 м расстояния) или более 4° (при лесных съемках), измеряют вертикальные углы (по ним вычисляют угол наклона линии на местности – см. пункт 13.1) для введения поправок в измеренные расстояния. Угол наклона ν записывают в геодезический журнал (рис. 2.4).

Оперативный контроль. Заключается в проверке правильности заполнения полевого журнала, разности между полуприемами при вычислении горизонтального угла (не более $2'$) и нахождения среднего значения горизонтального угла при полуприемах, определения допустимого расхождения между прямыми и обратными измерениями длин сторон, нахождения суммы измеренных горизонтальных углов и сравнения ее с теоретической суммой.



ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА. СЪЕМКА СИТУАЦИИ

Привязка. После выполнения измерений основного теодолитного хода для вычисления координат его пунктов выполняют его привязку к пунктам (реперам) геодезической сети (привязку можно выполнить как в начале съемки, так и в конце). С местоположением этих пунктов и условиями их привязки преподаватель знакомит на рекогносцировке.

Плановой привязкой называются геодезические работы, в результате которых определяют координаты начального пункта и дирекционный угол начальной стороны теодолитного хода. Назначение привязки – выполнение вычислений в единой системе координат и контроль измерений. Для этого часто используется *висячий* теодолитный ход (рис. 3.1, *а*).

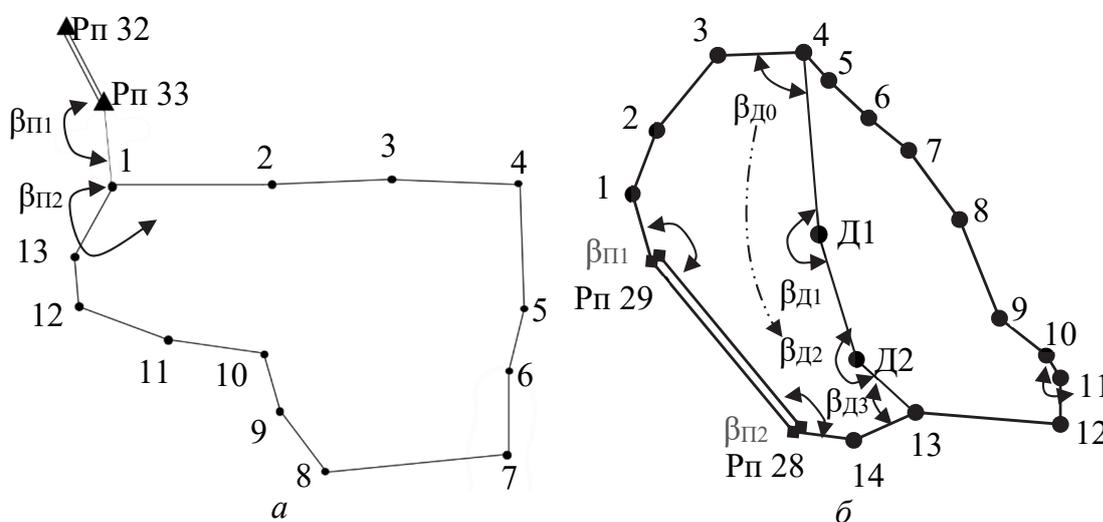


Рис. 3.1. Висячий (*а*) и диагональный разомкнутый (*б*) теодолитные ходы

Если ход висячий (рис. 3.1, *а*), то для привязки на нем выполняются точно такие угловые и линейные измерения, как и на основном теодолитном ходу, но в гораздо меньших объемах – измеряются два горизонтальных угла $\beta_{п1}$, $\beta_{п2}$ и расстояние $R_{п\ 33-1}$ (рис. 3.1, *а*). Эти измерения заносятся на новую страницу в специальный геодезический журнал (рис. 2.4 на с. 37).

Чаще всего реперные точки являются вершинами основного теодолитного хода (рис. 3.1, б), и привязочные углы ($\beta_{П1}$, $\beta_{П2}$) измеряются сразу в ходе съемки (расстояние между такими вершинами хода измерять не надо). Чтобы получить дирекционный угол линии Рп 28–Рп 29 (затем измеренный горизонтальный угол $\beta_{П1}$ (рис. 3.1, б) позволит получить дирекционный угол (α_{1-2}) стороны 1–2), необходимо по координатам реперов (Рп 28, Рп 29), которые выдаются преподавателем, решить *обратную геодезическую задачу*.

Обратная геодезическая задача. В геодезии часто приходится передавать координаты с одного пункта на другой. Зная исходные координаты (X_A ; Y_A) одного из концов отрезка линии местности AB , длину горизонтального проложения (d) и дирекционный угол (α_{AB}) (азимут (A_{AB}) или румб (r_{AB})) этой линии, можно определить координаты (X_B ; Y_B) другого конца отрезка (рис. 3.2). Такой алгоритм передачи координат называется *прямой геодезической задачей*.

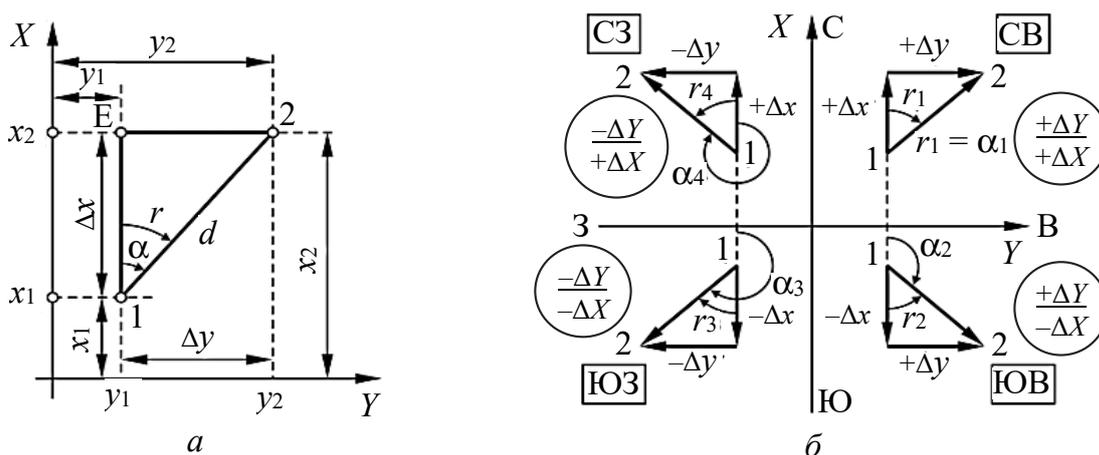


Рис. 3.2. Схемы к решению прямой (а) и обратной (б) геодезических задач

Однако для целей привязки прямая геодезическая задача не подходит, так как нам известны только координаты двух реперов. В данном случае применяется *обратная геодезическая задача*, которая состоит в том, чтобы по известным координатам X_A , Y_A , X_B , Y_B концов отрезка линии местности AB (рис. 3.2, б) определить длину горизонтального проложения d_{AB} и направление α_{AB} (дирекционный угол) этой линии. Решение задачи выполняют в такой последовательности.

Вычисляют приращения координат ΔX и ΔY по формулам:

$$\Delta X_{AB} = X_{к} - X_{н} = X_B - X_A; \quad (3.1)$$

$$\Delta Y_{AB} = Y_{к} - Y_{н} = Y_B - Y_A. \quad (3.2)$$

Находят численное значение румба r_{AB} отрезка AB линии местности:

$$r_{AB} = \operatorname{arctg} \left| \left(\frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}} \right) \right|. \quad (3.3)$$

По знакам приращений координат (рис. 3.2, табл. 3.1) определяют название четверти, в которой расположен отрезок линии, затем от румба переходят к значению дирекционного угла α .

Таблица 3.1

Связь румбов и дирекционных углов

Номер четверти	Название четверти	Знаки приращений координат		Значения дирекционных углов
		ΔY	ΔX	
I	СВ	+	+	$\alpha = r$
II	ЮВ	+	-	$\alpha = 180^\circ - r$
III	ЮЗ	-	-	$\alpha = 180^\circ + r$
IV	СЗ	-	+	$\alpha = 360^\circ - r$

Длину горизонтального проложения d линии AB можно получить из прямоугольного треугольника (рис. 3.2):

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2}. \quad (3.4)$$

Для контроля d вычисляют:

$$d_{AB} = \Delta X_{AB} / \cos \alpha_{AB} \text{ и } d_{AB} = \Delta Y_{AB} / \sin \alpha_{AB}. \quad (3.5)$$

Например, для реперов 28 и 29 (координаты: Рп 28 – $X_{Рп 28} = 10\,469,519$, $Y_{Рп 28} = 10\,448,886$; Рп 29 – $X_{Рп 29} = 10\,695,163$, $Y_{Рп 29} = 10\,312,231$) находим:

$$\Delta X_{Рп 28-Рп 29} = X_{Рп 29} - X_{Рп 28} = 10\,695,163 - 10\,469,519 = +225,644 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{Рп 28-Рп 29} = Y_{Рп 29} - Y_{Рп 28} = 10\,312,231 - 10\,448,886 = -136,655 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} r_{Рп 28-Рп 29} = \left| \frac{-136,655}{+225,644} \right| = 0,60562^\circ;$$

$$\operatorname{arctg} r_{Рп 28-Рп 29} = \operatorname{arctg} 0,60562 = 31,20^\circ = 31^\circ 12'.$$

В соответствии со знаками приращений координат $\Delta Y(-)$ и $\Delta X(+)$ определяем четверть (IV) – СЗ (рис. 3.2, табл. 3.1) и наименование румба линии Рп 28–Рп 29 – СЗ: $31^\circ 12'$.

Дирекционный угол линии Рп 28–Рп 29 равен $360^\circ - 31^\circ 12' = 328^\circ 48'$.

Длина линии Рп 28–Рп 29 равна

$$d_{\text{Рп 28–Рп 29}} = \sqrt{(+225,644)^2 + (-136,655)^2} = 263,80 \text{ м.}$$

Диагональный ход. Часто бывает, что при закладке основного теодолитного хода ситуация, находящаяся внутри, не просматривается. Чтобы иметь возможность ее съемки, прокладывают *диагональный ход*, который представляет собой разомкнутый теодолитный (см. рис. 3.1, б), опирающийся на две стороны основного замкнутого хода и являющийся контролем его угловых измерений.

По принципу построения диагональный ход подобен основному теодолитному ходу, но закладывается и обрабатывается только после основного. Данные по измерениям также заносятся в журнал (рис. 2.4), но на отдельную страницу.

Примечание. Вместо диагонального теодолитного хода можно проложить и измерить диагональный буссольный ход (см. пункт 6.1).

Методы съемки ситуации. В масштабах 1 : 5000 и более подлежат измерению объекты ситуации, которые выражаются в масштабе плана: пункты геодезических сетей; дома, сооружения и коммуникации; дорожные сети; гидрография и гидротехнические объекты; закрепленные на местности границы и заграждения; контуры растительности и т. д. Съемка ситуации заключается в измерениях, определяющих положение контуров и отдельных предметов ситуации на плане. Определение положения может производиться разными способами, применение которых зависит от конкретных условий местности и геодезических приборов. Чаще всего применяются следующие способы: *перпендикуляров, полярный, угловых засечек, линейных засечек, створов, обхода.*

Способ перпендикуляров (способ абсцисс и ординат). Применяется при съемке объектов ситуации, размещенных у сторон теодолитного хода. Положение точки определяется двумя величинами (рис. 3.3): отдалением по стороне теодолитного хода от точки съемочного основания – абсциссой X , и длиной перпендикуляра, построенного со стороны теодолитного хода до определяемой точки, – ординатой Y . Расстояние X от начала съемочной стороны до основания перпендикуляра измеряют лентой (рулеткой), укладываемой по створу линии 13–14, а длину перпендикуляров Y – рулеткой или нивелирной рейкой.

Перпендикуляры на местности могут строиться на глаз или с помощью рулетки (ленты) либо специального прибора – экера.

На геодезическом полигоне Негорельского учебно-опытного лесхоза перпендикуляры чаще всего небольшие (до 10–15 м), поэтому их строят иногда на глаз. При этом наблюдатель становится в створе линии, на которую должен быть опущен перпендикуляр, лицом к точке, от которой опускается перпендикуляр, вытягивает руки в стороны по направлению линии. Потом сводит руки впереди и перемещается в створе линии до тех пор, пока сведенные ладони не будут направлены на точку, с которой опускается перпендикуляр. В этот момент наблюдатель находится в точке, являющейся основанием перпендикуляра.

Можно также при данном методе использовать нивелирные рейки – у них широкие торцы, которые можно прикладывать под прямым углом к ленте (рулетке) или другой нивелирной рейке, лежащей в створе линии, и снимать отсчеты. При этом необходимо вести абрис съемки (рис. 3.4).

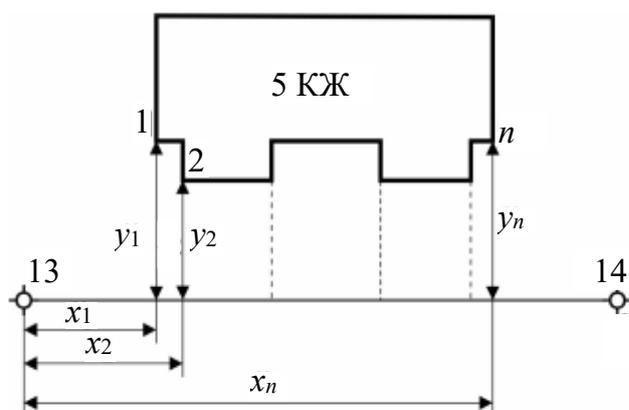


Рис. 3.3. Способ перпендикуляров (способ ординат)

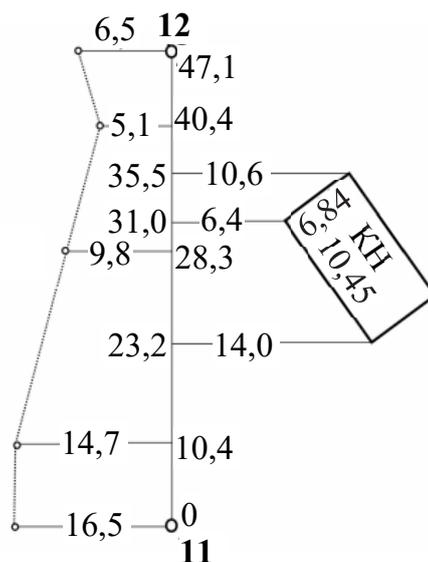


Рис. 3.4. Пример ведения абриса (при способе перпендикуляров)

Для контроля необходимо измерить рулеткой размеры зданий с занесением их на абрис (рис. 3.4).

Полярный способ (способ полярных координат). Этот способ применяют для определения положения характерных точек ситуации на открытой местности как небольших участков, так и отдельных контуров.

Положение точки определяется углом β_i , измеренным от стороны теодолитного хода 1–2, принимаемой за полярную ось, до расстояния D_i от точки теодолитного хода, принимаемой за полюс (рис. 3.5).

Для съемки полярным способом устанавливают теодолит над точкой теодолитного хода, например над точкой 2 (рис. 3.5), и ориентируют лимб *при круге слева* (КЛ) по направлению на предыдущую (или следующую) точку хода (точку 1). *Ориентировать лимб* – это значит разместить лимб теодолита, установленного над точкой 2, так, чтобы при визировании на точку 1 отсчет по лимбу был равен $0^{\circ}00'$. Для ориентирования лимба по заданному направлению отпускают закрепляющий винт алидады и вращают алидаду до тех пор, пока отсчет по лимбу не будет близок к нулю. Закрепляют алидаду с помощью ее наводящего винта и устанавливают отсчет, равный $0^{\circ}00'$. Затем, отпустив закрепляющий винт лимба, наводят зрительную трубу примерно на точку 1, зажимают закрепительный винт лимба и осуществляют окончательную точную наводку на точку 1 с помощью наводящего винта лимба.

При выполнении съемки поворотом алидады наводят трубу поочередно на все точки, которые требуется измерить, при этом отсчет каждый раз берется по горизонтальному кругу (КЛ). Поэтому такие отсчеты и будут горизонтальными углами β_i относительно выбранной стороны теодолитного хода. Расстояния до точек могут измеряться лентой, рулеткой или разными дальномерами. При этом также ведется абрис (рис. 3.5). На плане при данном методе используется транспортир.

Способ угловых засечек. Способ (рис. 3.6) применяется для съемки положения отдельных точек ситуации (столбов, отдельно стоящих деревьев и т. п.), а также в труднодоступных местах (граница болота, берег реки), исключающих непосредственное измерение расстояний от вершины теодолитного хода до точки, которая снимается (противоположный берег водоема, оврага и т. д.).

Для определения положения точки A (рис. 3.6) измеряются два угла β_1 и β'_1 , которые примыкают к базису 1–2. Базисом может служить сторона теодолитного хода или любые два пункта съемочного обоснования, между которыми есть видимость. Углы β_i , примыкающие к базису, измеряются одним полуприемом.

Важно! Нужно помнить, что при определении горизонтальных углов по часовой стрелке (от точки 1 к точке 2) измеряются *правые* по ходу углы (расположены с правой стороны от створа) и определяются

они по формуле $\beta_i = Z_i - \Pi_i$. На рис. 3.6 это левые по ходу углы. Поэтому формула для расчета левого горизонтального угла будет выглядеть: $\beta_i = \Pi_i - Z_i$. Второй вариант – поменять в измерениях направление базиса – вместо 1–2 принять базисное направление 2–1.

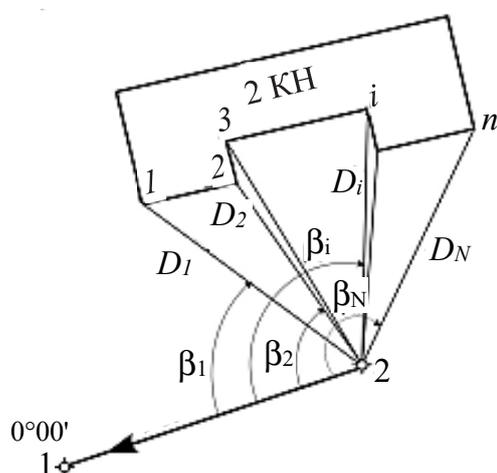


Рис. 3.5. Полярный способ съемки

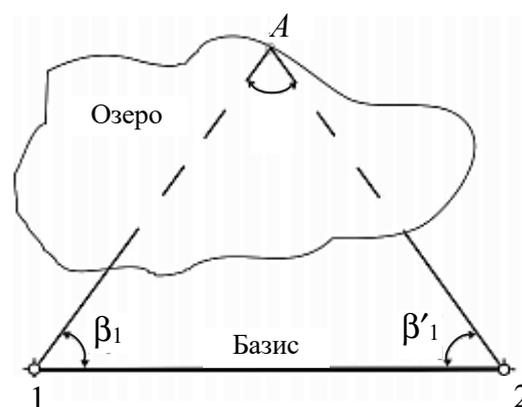


Рис. 3.6. Способ угловых засечек

Главное требование к угловой засечке состоит в том, чтобы угол у определяемой точки был в пределах от 30 до 150°. Данные измерений (рис. 3.6) заносятся на абрис съемки (см. рис. 2.4 на с. 37) или в тетрадь-дневник практики. На плане данный способ рисуется с помощью циркуля.

Способ створов. Он применяется, когда сторону (створ) теодолитного хода пересекает линейный объект или контур местности. В процессе съемки рулеткой измеряют расстояния по стороне теодолитного хода от станции до пересечения с контуром местности (рис. 3.7). Сущность способа заключается в том, что в створе двух известных точек 1 и 2 с помощью дальномера или ленты (рулетки) определяют расстояния до пересечения контуров (точки a, b, c, d). Результаты измерений указываются на абрисе (рис. 3.7).

Способ обхода. Применяется для съемки таких объектов, которые из-за удаленности или помехи не могут быть сняты с вершин и сторон основного теодолитного хода. В этом случае вокруг снимаемого объекта (рис. 3.8) прокладывают дополнительный съемочный ход 2'–3'–4'–5'–6'–2', который привязывают к основному ходу 2–1'–2'.

Если контур снимаемого объекта имеет прямолинейные границы (сельскохозяйственные угодья, плантации культур, застройки и т. п.), съемочный ход прокладывают непосредственно по границам объекта.

В этом случае контур хода представляет собой контур снимаемого объекта. Когда контур имеет сложную форму, то его границы снимают способом перпендикуляров от сторон съемочного хода (рис. 3.3).

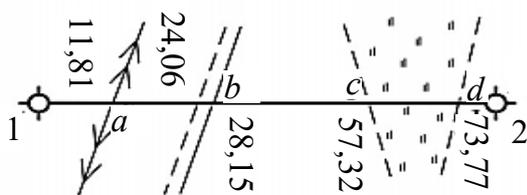


Рис. 3.7. Способ створов

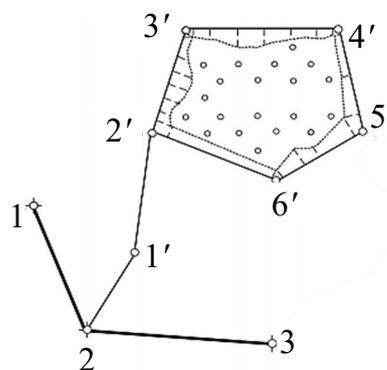
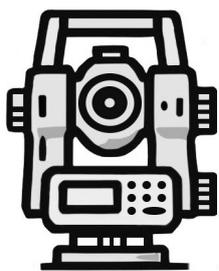


Рис. 3.8. Способ обхода

При съемке методом обхода углы в съемочном ходе измеряют одним полуприемом, а стороны – однократно мерной лентой (рулеткой) или дальномером. Запись измерений делается в геодезическом журнале (см. рис. 2.4 на с. 37) и отмечаются горизонтальные углы и расстояния на абрисе.

После всех выполненных работ абрисы и журналы полевых измерений подписывают члены бригады и предъявляют руководителю практики. Эти документы служат основанием для вычислительной обработки данных и построения их на планшете.



День № 4

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Камеральная обработка. По окончании полевых работ производят проверку полевого журнала и абрисов (см. рис. 2.4 на с. 37) и приступают к камеральной обработке результатов угловых и линейных измерений с вычислением прямоугольных координат точек теодолитных ходов.

Измеренные углы и линии содержат неизбежные случайные ошибки, из-за накопления которых результаты измерений не согласуются с теоретическими их значениями. Эти несоответствия называют *невязками*. Одной из задач вычислительных работ является распределение невязки по измеренным величинам так, чтобы исправленные значения были близкими к теоретическим. Процесс распределения невязки и получения исправленных значений величин измеряемых объектов называется *увязкой* или *уравниванием* результатов измерений.

Для вычисления координат пунктов теодолитного хода необходимо знать: координаты начальной и конечной точки, которые выдаются преподавателем (координаты исходных пунктов выбираются из каталога координат пунктов геодезического полигона Негорельского учебно-опытного лесхоза), и дирекционный угол начальной (иногда и конечной) линии – рассчитывается по обратной геодезической задаче (см. день № 3) и записываются в координатную ведомость (табл. 4.1).

Дальнейшие вычисления прямоугольных координат пунктов теодолитной съемки выполняют в «Ведомости вычисления координат вершин теодолитного хода» (табл. 4.1) в следующей последовательности.

1. *Заполнение координатной ведомости исходными данными.* Из полевого журнала в соответствии со схемой теодолитных ходов переписывают значения измеренных углов и длин сторон (см. табл. 4.1).

В графах 1 и 13 координатной ведомости (табл. 4.1) сверху вниз последовательно записывают *необходимые* названия точек теодолитного хода, начиная с привязочной (репера): Рп 29, 1, 2, 3, 4 и т. д.

В графу 2 (*в нижнюю часть ячейки*) заносят значения измеренных горизонтальных углов – их средние значения между сторонами теодолитного хода β_i по данным журнала (рис. 2.4 на с. 37).

В графу 6 записывают горизонтальные проложения d_i сторон теодолитного хода по данным журнала (рис. 2.4), располагая значения

между строками графы 1, в которых указаны названия пунктов данной линии. Если добавить длину линии Рп 28–Рп 29 (263,80 м), то теодолитный ход становится замкнутым.

2. *Уравнивание измеренных горизонтальных углов.* В координатной ведомости (табл. 4.1) подсчитывают сумму измеренных углов $\Sigma\beta_{\text{изм}}$:

$$\Sigma\beta_{\text{изм}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_i. \quad (4.1)$$

Определяют *теоретическую* сумму $\Sigma\beta_{\text{теор}}$ по формулам:

$$\Sigma\beta_{\text{теор}} = 180^\circ \cdot (n - 2) - \text{для замкнутого хода}; \quad (4.2)$$

$$\Sigma\beta_{\text{теор}} = (\alpha_n + 180^\circ \cdot n - \alpha_k) - 360^\circ - \text{для разомкнутого хода}, \quad (4.3)$$

где n – количество углов в полигоне; α_n и α_k – дирекционные углы начальной и конечной сторон разомкнутого (диагонального) хода.

Вычисленные значения $\Sigma\beta_{\text{изм}}$ и $\Sigma\beta_{\text{теор}}$ записывают в графы 1, 2 координатной ведомости.

Затем определяют *фактическую величину угловой невязки*:

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{изм}} - \Sigma\beta_{\text{теор}}, \quad (4.4)$$

и *допустимую величину угловой невязки*:

$$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 2 \cdot t \cdot \sqrt{n}, \quad (4.5)$$

где t – инструментальная точность прибора (для замкнутого теодолитного хода $t = 0,5'$, для разомкнутого $t = 1'$); n – число точек хода.

Полученные результаты записываются в нижнюю часть ведомости.

После расчета следует выполнить *контроль*, чтобы фактическая невязка была меньше либо равна допустимой ($f_\beta \leq f_{\beta \text{ доп}}$). Если контроль не пройден, то следует еще раз проверить правильность расчетов или вторично измерить углы, в которых имеются короткие линии хода, а затем углы, которые измерялись в неблагоприятных условиях, и повторить условие выполнения контроля.

Если *условие выполняется*, то полученные углы уравнивают (увязывают), т. е. эта угловая фактическая невязка с *обратным знаком* распределяется поровну на все углы хода в виде поправок, и записывают в графу 2 (табл. 4.1) над значениями соответствующих измеренных углов:

$$v_\beta = \frac{-f_\beta}{n}. \quad (4.6)$$

Если невязка f_β не делится без остатка на число углов (n), то *несколько большие поправки вводят в углы с короткими сторонами*, так как на результатах измерения таких углов в большей степени сказывается неточность центрирования теодолита и визирования на вешки.

Примечание. В учебных целях значения поправок округляют до 0,5' и вначале вводят поправки в углы, имеющие доли минут, округляя их до целых минут.

При этом во всех случаях должно соблюдаться условие

$$\sum v_{\beta} = -f_{\beta}, \quad (4.7)$$

т. е. сумма поправок должна равняться фактической угловой невязке f_{β} с обратным знаком.

Рассчитывают уравненный горизонтальный угол для каждой точки и записывают его в графу 3:

$$\beta_i = \beta'_i + v_{\beta,i}. \quad (4.8)$$

В конце расчетов следует выполнить контроль – сумма уравненных горизонтальных углов должна равняться теоретической сумме ($\sum \beta_{\text{урав}} = \sum \beta_{\text{теор}}$).

3. *Вычисление дирекционных направлений.* По известному дирекционному углу начальной стороны и уравненным внутренним углам β_i вершин теодолитного хода вычисляются дирекционные углы последовательно для всех его сторон следующим образом (дирекционный угол следующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс 180° и минус уравненный правый по ходу угол между этими сторонами):

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + 180^\circ - \beta_i \quad (0^\circ \leq \alpha_{i+1} < 360^\circ). \quad (4.9)$$

При этом конечное значение угла α_{i+1} не должно быть больше 360° . Если в результате вычислений дирекционный угол получается больше 360° , тогда его нужно уменьшить на 360° , а если сумма $\alpha_i + 180^\circ$ будет меньше вычитаемого угла, то ее нужно сначала увеличить на 360° .

Дирекционные углы заносят в координатную ведомость (графа 4) так, чтобы их записи располагались между строками графы 1, где указаны названия пунктов хода.

Контролем вычисления дирекционных углов для *разомкнутого* хода служит повторное получение в конце расчета уже известного значения дирекционного угла конечной стороны: $\alpha'_k = \alpha_k$, а для *замкнутого* хода – начальной стороны: $\alpha'_k = \alpha_k = \alpha_n$.

Нужно перевести полученные дирекционные углы в *румбы* для каждой стороны (графа 5), пользуясь схемой (формулами) взаимосвязи дирекционных углов и румбов (см. рис. 2.4 на с. 37, табл. 4.1).

Ведомость вычисления координат вершин геодезического хода

Номер точки	Горизонтальный измеренный угол β'		Горизонтальный угол уравненный β	Дирекционный угол α	Румб стороны r	Горизонтальное проложение $d, м$	Приращение координат, м				Координаты точек, м		Номер точки
	β'	β'					$\pm\Delta X'$	$\pm\Delta Y'$	вычисленные $\pm\Delta X'$	уравненные $\pm\Delta X$	$\pm\Delta X$	$\pm\Delta Y$	
1	2	3	—	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Рп 28	—	—	—	328°48'	C3 : 31°12'	—	—	—	—	—	—	—	Рп 28
Рп 29	-0,5' 164°24,5'	164°24'	—	344°24'	C3 : 15°36'	50,90	+0,007 49,025	-0,006 -13,688	49,032	-13,694	10 695,163	10 312,231	Рп 29
1	-0,5' 148°57,5'	148°57'	—	15°27'	CB : 15°27'	60,46	+0,008 58,275	-0,007 16,106	58,283	16,099	10 744,195	10 298,537	1
2	153°40'	153°40'	—	41°47'	CB : 41°47'	98,88	0,013 73,732	-0,011 65,885	73,745	65,874	10 802,478	10 314,636	2
3	128°26'	128°26'	—	93°21'	ЮВ : 86°39'	113,75	+0,015 -6,647	-0,013 113,556	-6,632	113,543	10 876,223	10 380,510	3
4	-0,5' 121°42,5'	121°42'	—	151°39'	ЮВ : 28°21'	82,55	+0,011 -72,649	-0,010 39,199	-72,638	39,189	<u>10 869,591</u>	<u>10 494,053</u>	4
5	180°11'	180°11'	—	151°28'	ЮВ : 28°32'	65,56	0,009 -57,597	-0,008 31,316	-57,588	31,308	10 796,953	10 533,242	5
6	172°52'	172°52'	—	158°36'	ЮВ : 21°24'	88,72	+0,012 -82,603	-0,01 32,372	-82,591	32,362	10 739,365	10 564,550	6
7	178°22'	178°22'	—	160°14'	ЮВ : 19°46'	114,61	+0,015 -107,857	-0,013 38,760	-107,842	38,747	10 656,774	10 596,912	7
8	199°30'	199°30'	—	140°44'	ЮВ : 39°16'	65,22	+0,009 -50,494	-0,008 41,280	-50,485	41,272	10 548,932	10 635,659	8
9	160°17'	160°17'	—	160°27'	ЮВ : 19°33'	33,63	+0,004 -31,691	-0,004 11,254	-31,687	11,250	10 498,447	10 676,931	9
10	165°52'	165°52'	—	174°35'	ЮВ : 5°25'	50,30	+0,007 -50,075	-0,006 4,748	-50,068	4,742	10 466,760	10 688,181	10
11	63°28'	63°28'	—	291°7'	C3 : 68°53'	108,42	+0,014 39,060	-0,012 -101,139	39,074	-101,151	10 416,692	10 692,923	11
12	-0,5' 201°4,5'	201°4'	—	270°3'	C3 : 89°57'	64,82	+0,009 0,057	-0,007 -64,82	0,066	-64,827	<u>10 455,766</u>	<u>10 591,772</u>	12
13	-0,5' 169°27,5'	169°27'	—	280°36'	C3 : 79°24'	62,81	+0,008 11,554	-0,007 -61,738	11,562	-61,745	10 455,832	10 526,945	13

Окончание табл. 4.1

Номер точки	Горизонтальный угол измеренный β'		Дирекционный угол α	Румб стороны r	Горизонтальное проложение d , м	Приращения координат, м			Координаты точек, м		Номер точки	
	β'	β				вычисленные $\pm\Delta X'$	вычисленные $\pm\Delta Y'$	уравненные $\pm\Delta X$	уравненные $\pm\Delta Y$	X		Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	-0,5' 183°11,5'	183°11'	-	-	-	-	-	-	-	10 467,394	10 465,200	14
Рп 28	128°37'	128°37'	277°25'	СЗ : 82°35'	16,45	0,002 2,123	-0,002 -16,312	2,125	-16,314	10 469,519	10 448,886	Рп 28
Рп 29	-	-	328°48'	СЗ : 31°12'	-	-	-	-	-	-	-	Рп 29
-	$\sum \beta' = 2520^{\circ}03'$	$\sum \beta = 2520^{\circ}00'$	-	-	$\sum d_i = 1077,08$	$\sum \Delta X' = -225,787$	$\sum \Delta Y' = +136,779$	$\sum \Delta X = -225,644$	$\sum \Delta Y = +136,655$	-	-	-
-	$\sum \beta_{\text{теор}} = 2520^{\circ}00'$	-	-	-	-	$\sum \Delta X_{\text{теор}} = -225,644$	$\sum \Delta Y_{\text{теор}} = +136,655$	-	-	-	-	-
-	$f_{\beta} = +0^{\circ}3'$	-	-	-	-	$f_X = -0,143$	$f_Y = 0,124$	$K_X = 0,00013277$	-	-	-	-
-	$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 4'$	-	-	-	-	$f_{\text{абс}} = 0,19$	$f_{\text{доп}} = 0,54$	$K_Y = -0,00011513$	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	$\sum \nu_{XY} = 0,143$	$\sum \nu_{YI} = -0,124$	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	<i>Диагональный теодолитный ход</i>				-
4	+0,5' 95°29,5'	95°30'	93°21'	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Д1	+0,5' 174°12,5'	174°13'	177°51'	ЮВ : 2°09'	234,56	-0,130 -234,395	+0,120 8,800	-234,525	8,920	10 869,591	10 494,053	4
Д2	+0,5' 236°14,5'	236°15'	183°38'	ЮЗ : 3°38'	106,47	-0,059 -106,256	+0,055 -6,747	-106,315	-6,692	10 635,066	10 502,973	Д1
12	+0,5' 37°19,5'	37°20'	127°23'	ЮВ : 52°37'	120,10	-0,067 -72,918	+0,061 95,430	-72,985	95,491	10 528,751	10 496,281	Д2
13	-	-	270°3'	-	-	-	-	-	-	10 455,766	10 591,772	12
-	$\sum \beta' = 543^{\circ}16'$	$\sum \beta = 543^{\circ}18'$	-	-	$\sum d_i = 461,13$	$\sum \Delta X' = -413,569$	$\sum \Delta Y' = 97,483$	$\sum \Delta X = -413,825$	$\sum \Delta Y = 97,719$	-	-	13
-	$\sum \beta_{\text{теор}} = 543^{\circ}18'$	-	-	-	-	$\sum \Delta X_{\text{теор}} = -413,825$	$\sum \Delta Y_{\text{теор}} = 97,719$	-	-	-	-	-
-	$f_{\beta} = -0^{\circ}02'$	-	-	-	-	$f_X = 0,256$	$f_Y = -0,236$	$K_X = -0,00055516$	-	-	-	-
-	$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 2'$	-	-	-	-	$f_{\text{абс}} = 0,35$	$f_{\text{доп}} = 0,46$	$K_Y = 0,00051179$	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	$\sum \nu_{XY} = -0,256$	$\sum \nu_{YI} = 0,236$	-	-	-

4. *Вычисление приращений координат.* Приращения координат каждой стороны, которые называются *вычисленными*, определяют по формулам прямой геодезической задачи:

$$\Delta X'_i = d_i \cdot \cos \alpha_i; \quad (4.10)$$

$$\Delta Y'_i = d_i \cdot \sin \alpha_i. \quad (4.11)$$

Важно! При вычислениях на инженерном калькуляторе $\Delta X'_i$ и $\Delta Y'_i$ величины α_i необходимо определять в градусах. Поэтому минуты надо переводить в градусы, например: угол $\alpha = 92^\circ 57'$, пересчитываем $\alpha = 57' / 60' + 92 = 92,950^\circ$.

Величины $\Delta X'_i$ и $\Delta Y'_i$ записывают в ведомость (см. табл. 4.1, графы 7 и 8) с округлением до 0,01–0,001 м и со знаком плюс или минус.

Определяют *суммы вычисленных приращений* координат $\Sigma \Delta X'$ и $\Sigma \Delta Y'$ всех сторон (см. табл. 4.1).

Вычисляют *теоретические значения сумм приращений* координат:

$$\Sigma \Delta X_{\text{теор}} = X_{\text{к}} - X_{\text{н}}; \quad (4.12)$$

$$\Sigma \Delta Y_{\text{теор}} = Y_{\text{к}} - Y_{\text{н}}. \quad (4.13)$$

Рассчитывают величину *фактической линейной невязки* как разность между суммой вычисленных приращений координат и теоретической суммой:

$$f_X = \Sigma \Delta X' - \Sigma \Delta X_{\text{теор}}; \quad (4.14)$$

$$f_Y = \Sigma \Delta Y' - \Sigma \Delta Y_{\text{теор}}. \quad (4.15)$$

Определяют *абсолютную линейную невязку* хода:

$$f_{s \text{ абс}} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2}. \quad (4.16)$$

Вычисляют *допустимую линейную невязку* хода, величина которой устанавливается соответствующими инструкциями в зависимости от масштаба съемки и условий измерений:

$$f_{s \text{ доп}} = \frac{1}{2000} \cdot \Sigma d \text{ — для замкнутого хода;} \quad (4.17)$$

$$f_{s \text{ доп}} = \frac{1}{1000} \cdot \Sigma d \text{ — для разомкнутого хода.} \quad (4.18)$$

Полученные расчеты следует записывать в нижней части ведомости (табл. 4.1).

Выполняют *контроль*. При этом необходимо, чтобы абсолютная невязка хода была меньше либо равна допустимой ($f_s \leq f_{s \text{ доп}}$). Если данное условие соблюдается, то *абсолютная невязка допустима*, что дает основание *произвести увязку (уравнивание)* приращений координат ΔX_i и ΔY_i .

Важно! Если контроль не пройден ($f_s \geq f_{s \text{ доп}}$), то ищут ошибку. Следует еще раз проверить правильность расчетов или перемерить длины сторон с повторным расчетом горизонтального проложения либо горизонтальные углы на станциях хода с выполнением контроля заново. Чтобы определить, в измерении каких сторон была допущена ошибка, вычисляют дирекционный угол абсолютной невязки:

$$\alpha_f = \operatorname{arctg} \frac{f_Y}{f_X}. \quad (4.19)$$

При определении дирекционного угла используют табл. 4.1. Затем по ведомости вычислений координат находят те стороны теодолитного хода, дирекционные углы которых близки к α_f или $\alpha_f \pm 180^\circ$. Найденные стороны измеряют повторно в первую очередь.

Невязки f_X и f_Y распределяют по вычисленным приращениям координат пропорционально длинам сторон *с обратным знаком*. С этой целью фактические невязки f_X и f_Y преобразуют в поправки v_{Xi} и v_{Yi} к соответствующим величинам ΔX_i и ΔY_i . Вначале вычисляют *поправочные коэффициенты*:

$$K_X = \frac{-f_X}{\sum d}; \quad (4.20)$$

$$K_Y = \frac{-f_Y}{\sum d}. \quad (4.21)$$

Затем определяют *поправки* пропорционально длине соответствующих сторон хода:

$$v_{Xi} = K_X \cdot d_i; \quad (4.22)$$

$$v_{Yi} = K_Y \cdot d_i. \quad (4.23)$$

Знак поправок v_{Xi} и v_{Yi} противоположен знаку соответствующей невязки f_X или f_Y . Полученные значения округляют до 0,001 м и записывают в графы 7 и 8 координатной ведомости (табл. 4.1) над соответствующими вычисленными приращениями координат $\Delta X'_i$ и $\Delta Y'_i$.

После этого следует выполнить контроль, чтобы *сумма всех поправок* равнялась невязке с обратным знаком:

$$\sum v_{Xi} = -f_X; \quad (4.24)$$

$$\sum v_{Yi} = -f_Y. \quad (4.25)$$

Из-за округлений значений поправок условия (4.24) и (4.25) могут не выполняться, в связи с чем в приращения, полученные по большим горизонтальным проложениям, следует добавить 0,001 м или убрать 0,001 м в полученных по меньшим горизонтальным проложениям до достижения условий.

По вычисленным приращениям координат и поправкам определяют *уравненные приращения координат*:

$$\Delta X_i = \Delta X'_i + v_{Xi}; \quad (4.26)$$

$$\Delta Y_i = \Delta Y'_i + v_{Yi}, \quad (4.27)$$

и их значения записывают в графах 9 и 10 координатной ведомости (табл. 4.1).

Определяют суммы уравненных приращений координат, которые записывают в графах 9, 10, и выполняют контроль вычислений, чтобы сумма уравненных приращений координат равнялась теоретической сумме:

$$\sum \Delta X = \sum \Delta X_{\text{теор}}; \quad (4.28)$$

$$\sum \Delta Y = \sum \Delta Y_{\text{теор}}. \quad (4.29)$$

5. Вычисление плановых координат пунктов хода. По исправленным приращениям и координатам начальной точки X_H, Y_H последовательно вычисляют *координаты* всех вершин полигона (графы 11 и 12 координатной ведомости). При этом координата каждой следующей точки хода равна сумме координаты предыдущей точки и уравненного приращения координат:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_i; \quad (4.30)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_i. \quad (4.31)$$

Окончательным *контролем* правильности вычислений координат служит получение координат конечной точки (X'_K и Y'_K) аналогично выполненным ранее. Их величина должна равняться истинным конечным координатам точки ($X'_K = X_K$ и $Y'_K = Y_K$).

Важно! Если основной теодолитный ход не привязан к координатам геодезической сети, следует сначала провести полевые работы по его привязке с помощью висячего теодолитного хода и выполнить камеральную обработку полученных угловых и линейных измерений. Для *висячего* (привязочного) теодолитного хода расчеты

отличаются – в них не выполняется уравнивание, т. е. изначально измеренные горизонтальные углы равны уравненным $\beta_{изм\ i} = \beta_{урав\ i}$, а вычисленные приращения координат соответствуют уравненным $\Delta X'_i = \Delta X_i$; $\Delta Y'_i = \Delta Y_i$. Не производят в таком ходу сравнение и увязку измеренных значений и их сумм с теоретическими (табл. 4.1).

Диагональный ход. Для разомкнутого (диагонального) теодолитного хода его камеральная обработка происходит после расчета основной координатной ведомости и на ее основании (из нее берут дирекционные углы и координаты, к которым привязывается разомкнутый ход). Эти дирекционные углы сторон и координаты точек (в нашем случае точки 4 и 12 из табл. 4.1), к которым примыкает диагональный ход, являются исходными для вычисления координат точек диагонального хода. Обработка диагонального хода производится в той же последовательности, что и основного хода. Пример расчета ведомости вычисления координат вершин теодолитных ходов (табл. 4.1) приведен на основании рис. 3.1, б.

Составление лесоустроительного планшета. Планшет строится по этапам после выполнения полевых и камеральных работ:

- 1) построение координатной сетки;
- 2) нанесение пунктов теодолитной съемки (основного и диагонального ходов) по их прямоугольным координатам;
- 3) нанесение ситуации, снятой различными способами;
- 4) нанесение материалов буссольной съемки;
- 5) определение площадей;
- 6) оформление лесоустроительного планшета.

Построение координатной сетки и нанесение пунктов съемочного обоснования по их прямоугольным координатам. Для составления планшета используется ватман формата А1 (А0), на который при помощи линейки профессора Дробышева Ф. В. (рис. 4.1) или циркуля-измерителя и масштабной линейки наносится координатная сетка.

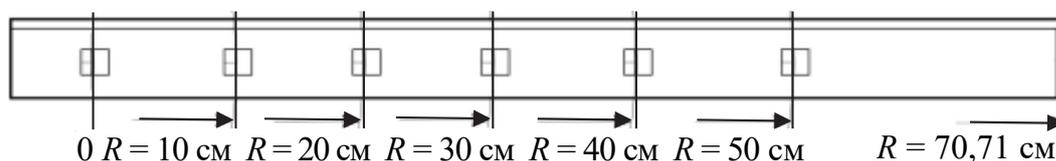


Рис. 4.1. Линейка профессора Дробышева Ф. В.

Координатная сетка вычерчивается линейкой квадратами 10×10 см (рис. 4.2) максимальным размером 50×50 см (в зависимости от величины и формы участка или выбранного масштаба стороны

могут уменьшаться до 30×40 см или продлеваться, например 5 на 6 квадратов, т. е. 50×60 см). Применение линейки Дробышева основано на использовании свойства прямоугольного (египетского) треугольника, т. е. с отношением сторон $3 : 4 : 5$.

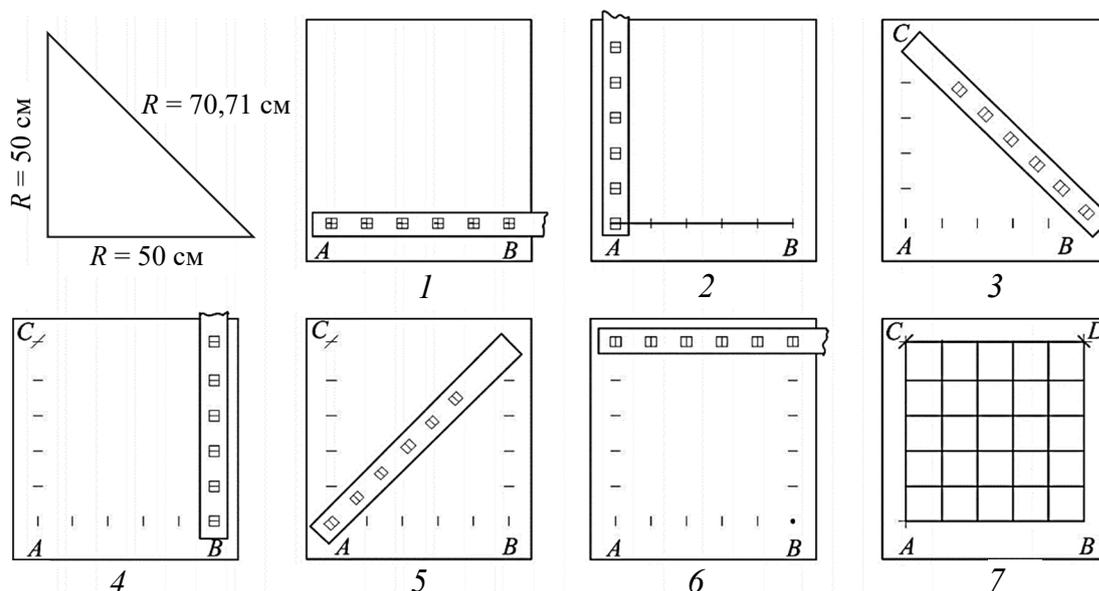


Рис. 4.2. Последовательность построения координатной сетки линейкой Дробышева

Порядок работ при построении сетки квадратов линейкой Дробышева:

1) прочерчивают внизу листа линию, приложив линейку к его основанию, на линии намечают точку A (10 см от левого края листа), от которой откладывают точку B (6-е окно), ставя при этом засечки в каждом окошке со стороны скошенного основания (рис. 4.2, 1);

2) засечками из точки A по стороне квадрата (1-е окно), а из точки B по диагонали (6-е окно) получают точку C (рис. 4.2, 2, 3);

3) засечками из точки B по стороне квадрата (6-е окно), а из точки A по диагонали (1-е окно) получают точку D (рис. 4.2, 4, 5);

4) проверяют отрезком между засечками $C-D$ точность построения (допустимое расхождение 0,2 мм) и ставят засечки в окнах по линии (рис. 4.2, 6);

5) полученный квадрат разбивают на малые квадраты со сторонами 10×10 см (соединяют линейкой все засечки на сторонах (рис. 4.2, 7)).

Координатную сетку оцифровывают для плана выбранного масштаба так, чтобы пункты съемочного обоснования разместились в пределах координатной сетки, чаще всего в масштабе $1 : 1000$

(1 см – 10 м) или 1 : 2000. При этом могут использоваться другие масштабы, как правило, в пределах 1 : 500 – 1 : 10 000.

Примечание. Можно первоначально построить координатную сетку в масштабе 1 : 10 000 (1 см – 100 м) на тетрадном листе в клетку со стороной квадрата 1 см, что позволит достаточно точно оценить положение теодолитного хода внутри координатной сетки, выяснить, помещаются ли результаты теодолитной съемки на лист, и определить количество необходимых квадратов.

Производят оцифровку координатной сетки, выставляя по вершинам квадратов значения Y (вертикально) и X (горизонтально). Для этого выбирают в координатной ведомости (табл. 4.1) координаты по осям X и Y , имеющие *наименьшее* и *наибольшее* значения. Например: в табл. 4.1 такими координатами являются по оси X наименьшее значение координаты точки 11 ($X_{11} = 10\,416,692$) и наибольшее значение точки 3 ($X_3 = 10\,876,223$); по оси Y наименьшее значение координаты точки 1 ($Y_1 = 10\,298,537$) и наибольшее значение точки 11 ($Y_{11} = 10\,692,923$).

Высчитывают разницу максимальных и минимальных значений по X и Y , например $\Delta X = 10\,876,223 - 10\,416,692 = 459,531$ м и $\Delta Y = 10\,692,923 - 10\,298,537 = 394,386$ м.

Координатная сетка состоит из квадратов 10×10 см, что в масштабе 1 : 1000 дает квадраты 100×100 м, т. е. их сторона равна 100 м. В нашем случае по оси X ситуация разместится на 4 квадратах ($459,531 / 100 \approx 5$ – с округлением в большую сторону) и по оси Y также на 4 квадратах ($394,386 / 100 \approx 4$). Это говорит о том, что для нанесения координат по табл. 4.1 достаточно сетки 100×100 см (масштаб 1 : 1000) и не нужно уменьшать масштаб до 1 : 2000.

Отсчет по осям координат начинают от результата округления наименьших координат ($X_{11} = 10\,416,692$ и $Y_1 = 10\,298,537$ (табл. 4.1)), кратных 100 (так как 10 см в масштабе 1 : 1000 соответствуют 100 м на местности). Таким числом по оси X является 10 400 м, а по оси Y – 10 200 м. Проводят оцифровку остальных линий сетки через 50 м, при этом контролируют максимальные значения координат, чтобы они не вышли за границы координатной сетки.

Нанесение пунктов съемочного обоснования. После разбивки координатной сетки наносят пункты теодолитного хода (рис. 4.3) согласно их вычисленным координатам (табл. 4.1). Для этого вначале определяют квадрат координатной сетки, в который попадает та или иная точка теодолитного хода, рассчитывают приращения координат

относительно юго-западной вершины этого квадрата, после чего в соответствии с данными приращения наносят на план точку. Например, нанесем точку Рп 29 ($X_{Рп\ 29} = 10\ 695,163$; $Y_{Рп\ 29} = 10\ 312,231$). Она будет находиться (рис. 4.3) в квадрате с вершинами: $X_н = 10\ 600$ м; $X_в = 10\ 750$ м; $Y_л = 10\ 300$ м; $Y_п = 10\ 400$ м.

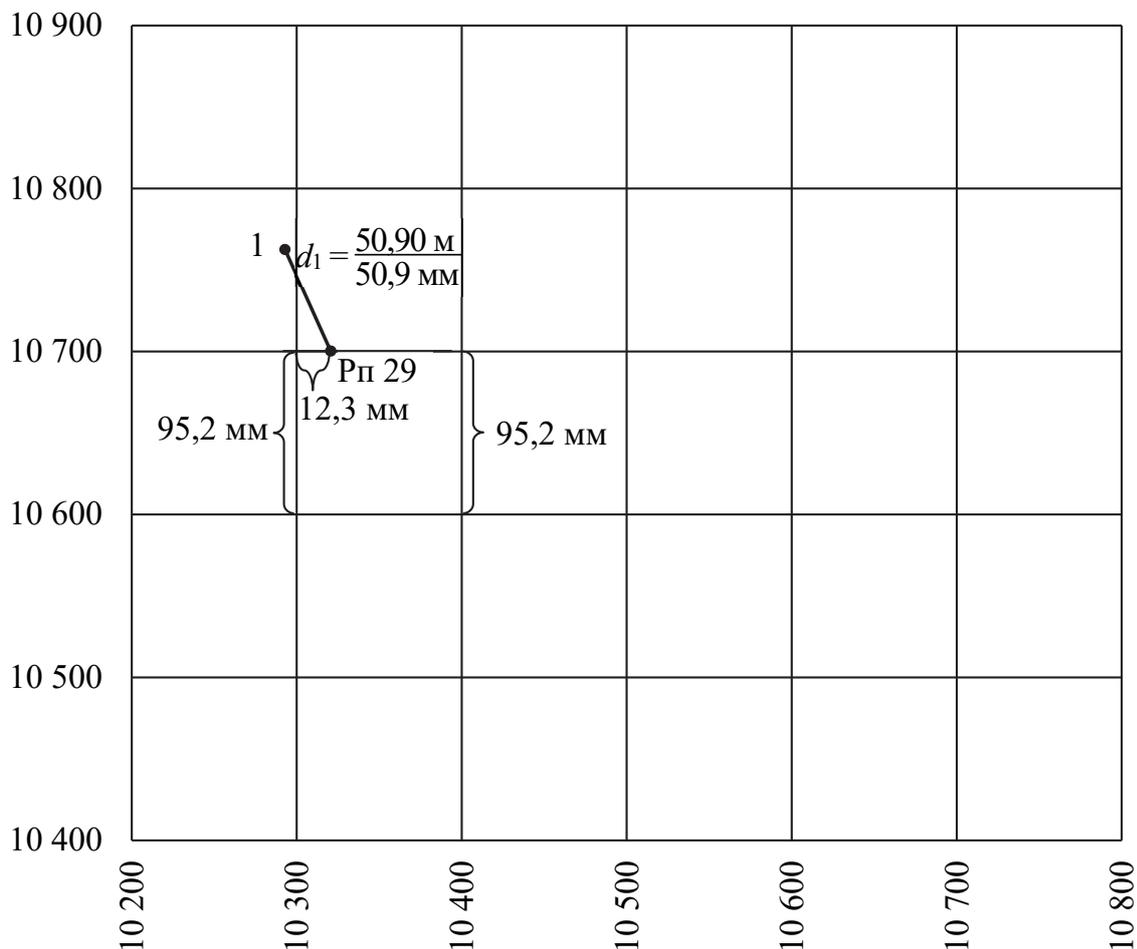


Рис. 4.3. Нанесение точек по их координатам

По обеим вертикальным сторонам указанного квадрата в масштабе откладывают вверх приращение абсциссы точки Рп 29 над абсциссой нижней стороны квадрата ($10\ 600$ м): $X_{Рп\ 29} - X_н = 10\ 695,163 - 10\ 600 = 95,163$ м (рис. 4.3). В масштабе $1 : 1000$ это расстояние будет равняться: $95,163 \cdot 1 / 10 = 9,52$ см = $95,2$ мм (1 см – 10 м, $d_п = 95,163$ м).

По горизонтальным сторонам указанного квадрата вправо откладывают в масштабе приращение ординаты точки Рп 29 над ординатой левой стороны квадрата: $Y_{Рп\ 29} - Y_л = 10\ 312,231 - 10\ 300 = 12,231$ м. В масштабе $1 : 1000$ отрезок на плане составит $12,231 / 10 = 1,23$ см = $12,3$ мм (рис. 4.3).

Приложив линейку к горизонтальным меткам, прочерчивают короткую линию в предполагаемом месте размещения точки, аналогично прикладывают линейку к вертикальным штрихам, прочерчивают отрезок так, чтобы он пересек первый. Пересечение этих линий и определяет положение точки Рп 29 (рис. 4.3).

Аналогичным образом наносят следующую точку полигона и сразу проверяют правильность их нанесения. Для этого используют значения дирекционного угла данной линии и их горизонтального проложения (в соответствии с масштабом). Данные для проверки выбираются из столбца 6 ведомости вычисления координат вершин теодолитного хода (табл. 4.1). Допустимая погрешность длины составляет 0,5–0,8 мм. Правильность направления нанесенной линии в соответствии с ее дирекционным углом проверяют с помощью транспортира.

Примечание. Не проверив правильность расположения измерением на плане длин сторон между двумя нанесенными пунктами плано-съёмочного обоснования, не приступают к нанесению следующей точки. Так, после нанесения точки 1 по данным координатной ведомости (табл. 4.1) длина линии Рп 29–1 (d_1) составляет 50,90 м, что в масштабе 1 : 1000 равняется 5,09 см (50,9 мм) (рис. 4.3). После проверки линейкой этого расстояния и его совпадения с данными ведомости (табл. 4.1) переходят к нанесению точки 2.

После нанесения точек основного теодолитного хода аналогичным образом по координатам наносят вершины диагонального хода. Пример координатной сетки для масштаба 1 : 1000 и расположения пунктов теодолитного хода приведены на рис. 4.4.

Нанесение ситуации, снятой различными способами. Вынос на планшет результатов съёмки подробностей осуществляется от линий и вершин теодолитного хода. Для этого используются абрисы теодолитной съёмки, оформленные при выполнении работ разными методами съёмки ситуации: перпендикуляров, полярным, угловых засечек, линейных засечек, створов, обхода (рис. 3.3–3.8).

При нанесении точек, снятых способом угловых засечек, в вершинах базисов откладывают углы и прочерчивают направления, пересечение которых определяет положение искомой точки на плане.

Нанесение точек способом линейных засечек выполняется с помощью циркуля-измерителя и сводится к построению треугольника по трем сторонам, длины которых измерены при съёмке.

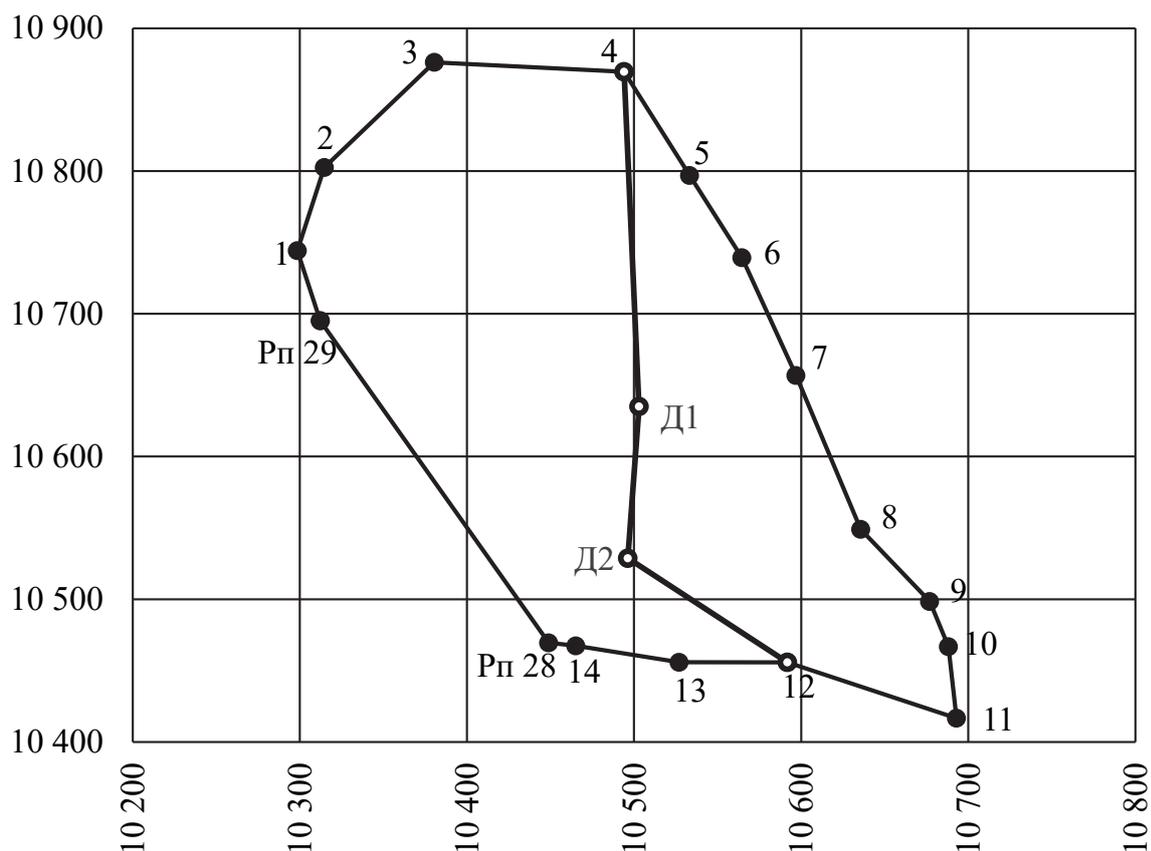
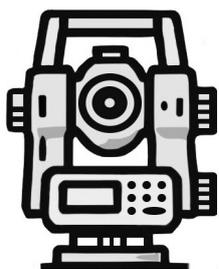


Рис. 4.4. Результат нанесения точек по их координатам для основного и диагонального теодолитных ходов

Для точек, снятых способом обхода, могут быть вычислены координаты, поэтому их нанесение на план производится так же, как и точек съемочного обоснования. При графическом способе нанесения последовательно выполняют те же действия, что и при нанесении точек, снятых полярным способом.

При наложении точек, снятых полярным способом, используют транспортир и линейку. Порядок работ схож с нанесением результатов тахеометрической съемки (см. пункт 13.2).

Примечание. При построении контуров местности на плане все вспомогательные чертежи выполняют тонкими линиями. Значения углов и расстояний, приведенных в абрисе, на планшете не показывают.



День № 5

БУССОЛЬНАЯ СЪЕМКА. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Буссольная съемка является горизонтальной съемкой малой точности на небольших участках местности (может использоваться для съемки ситуации при других, более точных съемках). Внутренние границы выделов не являются четкими при отводе лесосек в рубку, привязке пробных площадей, отбивке границ лесопосадок и других работах, поэтому углы между прямолинейными граничными линиями измеряют с погрешностями до 10–30'. Такую точность обеспечивают буссоли и гониометры.

Буссоль – геодезический прибор, предназначенный для измерения магнитных азимутов, магнитных румбов и горизонтальных углов. Буссоли бывают штативные (устанавливаются на штатив), ручные (работают с руки) и настольные (накладываются на карту для ее ориентирования).

5.1. Устройство буссоли и ее поверки

Устройство буссоли. Буссольная съемка – один из основных видов съемок, используемых в практике лесном хозяйстве. В основном применяются буссоль Стефана БС-2 и буссоль геодезическая БГ-1 (рис. 5.1), достаточно распространена ручная финская буссоль Suunto KB-14 (рис. 5.2).

Буссоль (рис. 5.1) представляет собой круглую коробку, внутри которой на шпиль насажена магнитная стрелка 4. Северный конец магнитной стрелки окрашен в черный цвет, южный – в белый.

В нерабочем положении магнитная стрелка должна быть прижата к защитному стеклу путем вращения кольца крышки корпуса буссоли 8 по часовой стрелке. Втулка 10 служит для закрепления буссоли на штативе или на верхнем конце деревянной вешки. Между крышкой корпуса 8 и лимбом 1 (горизонтальным кругом) вращается алидадная линейка (алидада 2) с двумя вертикальными диоптрами – глазной диоптр 7 имеет узкую смотровую щель, предметный 5 – ввертикально натянутую в прорези нить 6. Край горизонтального

круга (лимб) имеет деления $13'$. Градусное кольцо 3 и лимб 1 горизонтального круга разбиты через 1° , а оцифрованы через 10° . Кольцо имеет румбическую оцифровку (от 0 до 90° в каждой четверти), поэтому иначе оно называется *румбическим*, а лимб – азимутальную (от 0 до 360° по ходу часовой стрелки). На конических поверхностях выступов алидады с двух сторон нанесены шкалы – верньеры 12 (рис. 5.3), позволяющие отсчитывать лимб с точностью до $5'$.

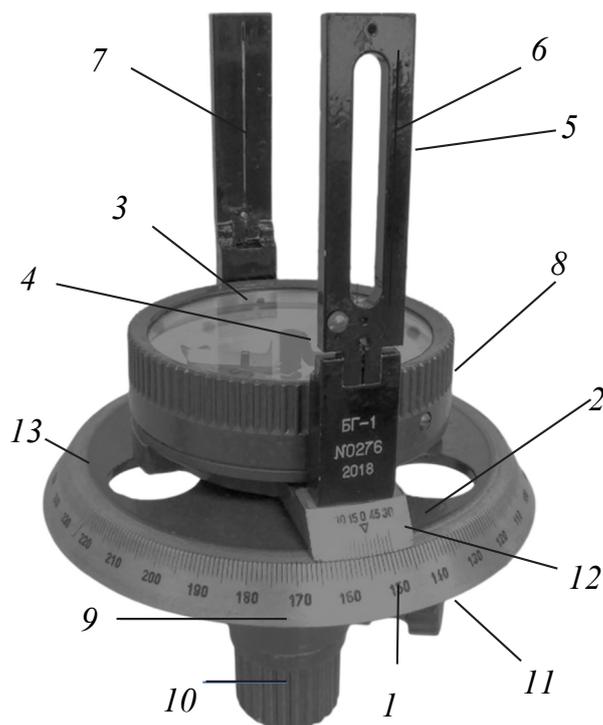


Рис. 5.1. Буссоль БГ-1:

1 – лимб; 2 – алидада; 3 – градусное (румбическое) кольцо; 4 – магнитная стрелка; 5 – предметный диоптр; 6 – нить; 7 – глазной диоптр; 8 – крышка корпуса; 9 – переходная втулка; 10 – посадочная втулка; 11 – закрепительный винт; 12 – верньер; 13 – круговая градусная шкала

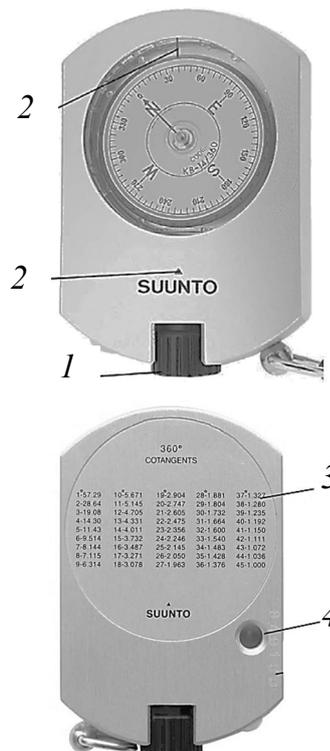


Рис. 5.2. Буссоль Suunto KB-14:

1 – оптика; 2 – риски; 3 – таблица котангенсов; 4 – отверстие для штатива

Действие верньера основано на способности глаза уверенно устанавливать совпадение двух штрихов, когда один из них является продолжением другого и *концы их совпадают*. Верньер представляет собой подвижную шкалу, которая может скользить вдоль основной; деления на подвижной шкале имеют более мелкие штрихи, чем на основной. Штрихи пронумерованы кратно $5'$, каждый третий подписан (рис. 5.3).

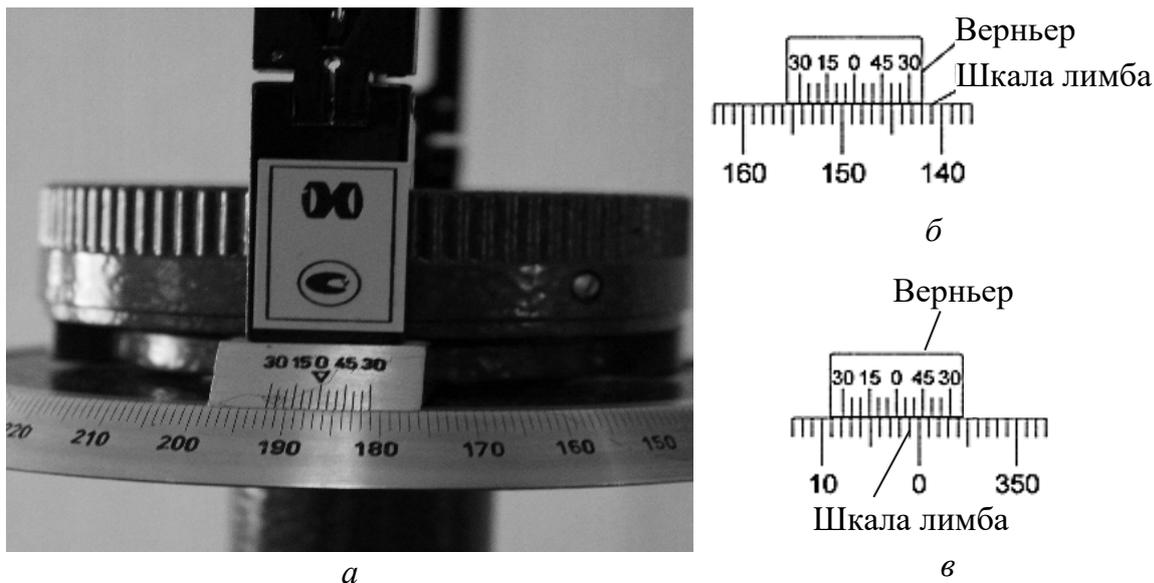


Рис. 5.3. Отсчеты по лимбу и верньеру буссоли БГ-1:
 а – отсчет $186^{\circ}35'$; б – отсчет $148^{\circ}45'$; в – отсчет $2^{\circ}20'$

Пользуясь такой оцифровкой, сначала на лимбе (рис. 5.3, а) находят ближайший к нулю верньера меньший градусный штрих – 186° (т. е. определяют, между какими градусами шкалы лимба попадает 0° верньера, и берут меньшее значение, в нашем случае (рис. 5.3, а) между 186° и 187° берется меньшее – 186°), затем на шкале верньера находят штрих, наилучше совпадающий с каким-либо штрихом лимба, и по его цифровому значению отсчитывают значения минут – $35'$. Полный отсчет состоит из градусов лимба и минут верньера – $186^{\circ}35'$. На рис. 5.3, б полный отсчет для определения магнитного азимута равен $148^{\circ}45'$, на рис. 5.3, в – $2^{\circ}20'$.

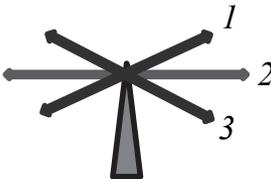
Проверки буссоли. В начале работ необходимо провести общий осмотр прибора, убедиться, что все механизмы вращаются свободно, без дополнительных усилий. Магнитная стрелка должна быть прижата к защитному стеклу. При вращении кольца крышки буссоли против часовой стрелки магнитная стрелка должна приводиться в рабочее положение (магнитная стрелка должна опускаться на шпиль), а при вращении по часовой стрелке – прижиматься к защитному стеклу.

Перед выполнением угловых измерений необходимо провести проверки буссоли, закрепив ее на штативе. Горизонтирование прибора выполняют либо на глаз, либо с использованием небольшого уровня, затем магнитную стрелку опускают на шпиль. Условия проверок следующие.

1. *Магнитная стрелка должна устанавливаться на шпилье горизонтально.* При приведении магнитной стрелки в рабочее положение путем вращения кольца крышки буссоли против часовой стрелки магнитная стрелка должна опускаться на шпилье горизонтально (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Проверка магнитной стрелки буссоли

Номер определения	Расположение стрелки (указать)	Результат проверки
1		2 (пройдена)

В обратном случае юстируют путем уравнивания стрелки колечком алюминиевой фольги.

2. *Магнитная стрелка должна обладать достаточной чувствительностью.* После приведения магнитной стрелки в рабочее положение снимают отсчет румба. Далее необходимо поднести железный предмет к буссоли. В результате магнитная стрелка поменяет свое первоначальное положение и начнет колебаться. После того как стрелка успокоится, следует повторно снять отсчет румба. Если разница в двух отсчетах превышает $\pm 30'$, то буссоль не пригодна для точных измерений магнитных азимутов и румбов (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Проверка чувствительности буссоли

Номер определения	Значение румба		Разница отсчетов	Результат проверки
	до воздействия	после воздействия		
1	ЮВ : $52^{\circ}30'$	ЮВ : 54°	$-1^{\circ}30'$	Не пройдена
2	СЗ : 47°	СЗ : $46^{\circ}30'$	$0^{\circ}30'$	Пройдена

3. *Ось вращения магнитной стрелки должна совпадать с центром прилегающего кольца градусных делений.* При проверке магнитной стрелки на эксцентриситет буссоль поворачивают вокруг вертикальной оси 5–6 раз через каждые 50 – 60° . Далее следует определить отсчет румба по северному и южному концам магнитной стрелки. Если отсчеты по противоположным концам магнитной стрелки будут отличаться более чем на $\pm 30'$, то при измерениях магнитного азимута и румба отсчеты по градусному кольцу следует брать по обоим

концам магнитной стрелки с последующем вычислением среднего значения. Истинным направлением будет являться направление, определенное по предметному диоптру (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Проверка на эксцентриситет магнитной стрелки буссоли

Угол поворота	Отсчеты румба по магнитной стрелке		Двойной эксцентриситет (разница $r_c - r_{ю}$)	Средний отсчет (r_{cp})
	северной (r_c)	южной ($r_{ю}$)		
$\approx 0^\circ$	СВ : 1°	ЮЗ : $1^\circ 30'$	$-30'$	СВ : $1^\circ 15'$
$\approx 60^\circ$	СВ : $60^\circ 30'$	ЮЗ : $60^\circ 30'$	$0'$	СВ : $60^\circ 30'$
$\approx 120^\circ$	СЗ : $59^\circ 30'$	ЮВ : 60°	$-30'$	СЗ : $59^\circ 45'$
$\approx 180^\circ$	С : 0°	Ю : 0°	$0'$	С : 0°
$\approx 240^\circ$	СВ : $60^\circ 30'$	ЮЗ : 60°	$+30'$	СВ : $60^\circ 15'$
$\approx 300^\circ$	СЗ : $60^\circ 30'$	ЮВ : $60^\circ 30'$	$0'$	СЗ : $60^\circ 30'$

5.2. Техника измерения направлений и горизонтального угла

Измерение горизонтального угла. Для измерения горизонтального угла магнитная стрелка не используется. Буссоль устанавливается на вершину угла, после чего прибор центрируют (при установке буссоли на вешке необходимость в центрировании отпадает, поскольку вешка устанавливается непосредственно на вершину угла). Погрешность центрирования буссоли по отвесу допускается до 3–5 см. При этом *совмещать нули не надо*. Прибор *удерживают* от поворотов на оси втулки 10 (рис. 5.1), визируют через глазной диоптр в предметный на веху задней точки и берут отсчет З по круговой градусной шкале 13 с помощью верньера при глазном диоптре. Затем визируют диоптрами на веху передней точки и берут отсчет П по шкале 13 посредством верньера при глазном диоптре.

Горизонтальный угол (правый по ходу) рассчитывается так же, как и при теодолитной съемке: $\beta = З - П$.

Важно! Если горизонтальный угломерный круг ориентировать, т. е. установить отсчет $0^\circ 00'$ при глазном диоптре на переднюю вешку, то отсчет на заднюю вешку будет являться значением горизонтального угла.

Примечание. Также можно объединить измерение магнитных азимутов и горизонтального угла, т. е. совместить «три нуля» и выполнить визирование и определение магнитного азимута на заднюю точку

(обратный азимут $A_{обр}$), а затем выполнить визирование и измерение магнитного азимута на переднюю точку (прямой азимут $A_{пр}$). Горизонтальный угол будет равен: $\beta = A_{обр} - A_{пр}$.

Измерение магнитных направлений. Для определения магнитного румба необходимо привести магнитную стрелку в рабочее положение путем вращения кольца крышки 8 (рис. 5.1) буссоли против часовой стрелки. Далее при помощи глазного 7 (со стороны наблюдателя) и предметного 5 (со стороны визирующей точки) диоптра произвести визирование на точку. Угловую величину (градусы) румба определяют по градусному кольцу с точностью до 30', направление румба – по положению магнитной стрелки относительно 0° по предметному диоптру (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Определение магнитного румба:
 a – отсчет СВ : 32°; b – отсчет ЮЗ : 29°30'

Измерение магнитного азимута. Для данного измерения прибор ориентируют относительно магнитного меридиана путем совмещения всех нулей, т. е. выставляют «три нуля» – 0°00' по лимбу и север 0° по магнитной стрелке.

Наблюдатель совмещает на буссоли (рис. 5.5) нулевой штрих 0° верньера 12 (рис. 5.1), находящегося под *глазным* диоптром 7, с нулевым 0°00' штрихом круговой градусной шкалы 13. Далее приводят магнитную стрелку в рабочее положение (отжимают крышку корпуса 8) и ослабляют закрепительный винт 11. В этом положении весь прибор поворачивают на втулке до момента совмещения северного (черного) конца магнитной стрелки со 180° по предметному диоптру

(или 0° по главному, но с южным концом стрелки) и *закрепляют закрепительный винт* (рис. 5.5).

Таким образом, в исправной буссоли должны совпадать все нули, в их числе нулевой штрих верньера *12* (рис. 5.1) при глазном диоптре *7* – со штрихом 0° шкалы *13* и оба конца магнитной стрелки – с нулевыми штрихами румбического кольца (шкалы) *3* (положение «*три нуля*» (рис. 5.5)).

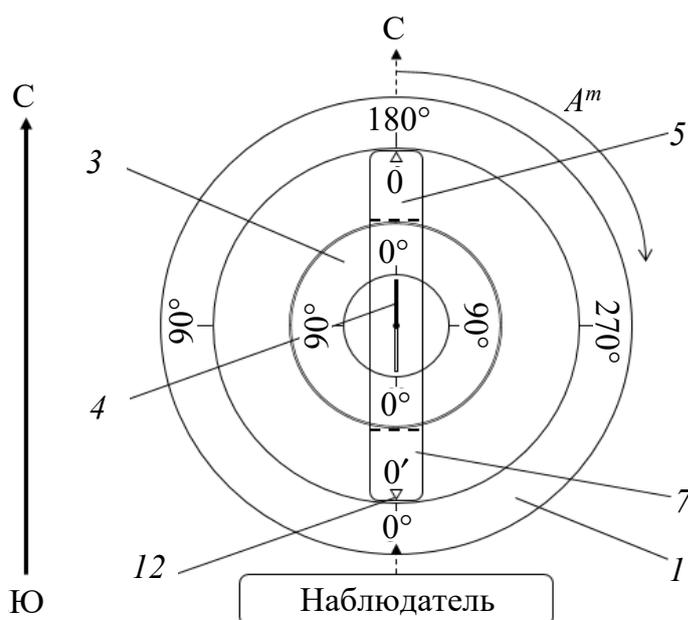


Рис. 5.5. Ориентирование буссоли для определения магнитного азимута и ее основные части (из рис. 5.1):

1 – лимб; *3* – градусное (румбическое) кольцо; *4* – магнитная стрелка; *5* – предметный диоптр; *7* – глазной диоптр; *12* – верньер

Держа за диоптры, поворачивают алидаду (следить, чтобы сама буссоль не вращалась) так, чтобы через прорезь глазного и нить предметного диоптров был виден объект визирования, можно брать отсчет по лимбу и верньеру (см. рис. 5.3) – это и будет *магнитный азимут*.

Примечание. Обязательно необходимо выполнить контроль, сняв отсчет по градусному кольцу, т. е. магнитный румб. Вычисленный магнитный румб, взятый по лимбу горизонтального круга, должен быть равен магнитному румбу, полученному по градусному кольцу, с допустимой погрешностью $\pm 30'$.

После успешного прохождения проверок для тренировки измерений углов и магнитных направлений каждая бригада закладывает *тренировочный буссольный ход*. Разбивается треугольник с расположением вершин на расстоянии 40–60 м друг от друга, которые

закрепляются в земле колышками и сторожками. Расстояния в пробном буссольном ходу не измеряются, так как принцип измерения их такой же, как и в теодолитном ходу. Измеряются горизонтальные углы и магнитные направления сторон, результаты заносятся в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Журнал буссольной съемки

Номер станции	Номер точки визирования	Отсчеты по горизонтальному кругу	Горизонтальный угол	Магнитный азимут (или румб)		Контроль (угол)	Абрис
				обратный	средний		
1	3	274°20'	89°15'	260°35'	171°15'	89°20'	
	2	185°05'		171°15'			
2	1	322°25'	60°50'	351°15'	290°30'	60°40'	
	3	261°35'		290°35'			
3	2	60°30'	30°15'	110°25'	80°27,5'	30°05'	
	1	30°15'		80°20'			
—	—	—	—	260°35'	—	—	
—	—	$\sum \beta' =$	—	—	—	—	
—	—	$\sum \beta_{\text{теор}} = 180°00'$	—	—	$f_{\beta} < f_{\beta \text{ доп}}$	—	
—	—	$f_{\beta} = 0°12,5'$	—	$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 17'$	—	—	

Вычисляется сумма измеренных горизонтальных углов, сумма теоретических, невязки фактическая и допустимая и среднее значение магнитного азимута (румба) по прямому направлению:

$$A_{\text{пр ср}} = (A_{\text{пр}} + A_{\text{обр}} - 180^\circ) / 2, \text{ если } A_{\text{пр}} < 180^\circ; \quad (5.1)$$

$$A_{\text{пр ср}} = (A_{\text{пр}} + A_{\text{обр}} + 180^\circ) / 2, \text{ если } A_{\text{пр}} \geq 180^\circ. \quad (5.2)$$

Среднее значение румба берется как среднеарифметическое значение из градусов и минут, а за направление принимается четверть прямого румба.

5.3. Определение склонения магнитной стрелки

До начала буссольной съемки следует определить склонение магнитной стрелки (δ), это связано с тем, что для построения результатов съемки необходимо откладывать дирекционный угол (отсчитывается от северного направления осевого меридиана по ходу часовой стрелки), который отличается от магнитных азимутов (A_M) как раз на склонение магнитной стрелки (δ) и сближение меридианов (γ):

$$\alpha = A_M + \delta - \gamma. \quad (5.3)$$

Примечание. В зоне № 5 зональной системы прямоугольных координат (проекция Гаусса – Крюгера) географическая долгота осевого меридиана $\lambda_0 = 27^\circ$, а средняя долгота Негорельского геодезического полигона $\lambda_{\text{п}} = 27^\circ 03'$, что соответствует углу сближения меридианов $+2,4'$. Угол меньше погрешности определения магнитного азимута $5-15'$, поэтому он может не учитываться в установлении склонения магнитной стрелки. В итоге склонение магнитной стрелки – это горизонтальный угол между осью магнитной стрелки и осью абсцисс в лесоустроительном планшете.

Для определения данного угла необходимо измерить на местности буссолю 5–7 сторон теодолитного хода, выбирая из них наиболее короткие и не ближе 30–40 м от газопроводов, ЛЭП, которые вызывают помехи для магнитной стрелки.

Каждому члену бригады необходимо выбрать по одной стороне теодолитного хода и для него измерить буссолю прямой $A_{\text{пр}}^{\text{М}}$ (например, сторона 1–2) и обратный $A_{\text{обр}}^{\text{М}}$ (соответственно, сторона 2–1) магнитные азимуты и румбы с обязательным контролем по магнитному румбу с занесением результатов в табл. 14. Допустимая разница в прямых и обратных магнитных азимутах не должна превышать $\pm 180^\circ \pm 30'$.

Затем вычисляется среднее значение $A_{\text{пр ср}}^{\text{М}}$ магнитного азимута (румба) по прямому направлению по формулам (5.1) или (5.2).

Из координатной ведомости теодолитного хода (см. табл. 9 на с. 49–50) необходимо переписать значение дирекционного угла (α) для каждой выбранной для измерения стороны хода.

Угол склонения магнитной стрелки для каждой стороны рассчитывается как разница между азимутом прямым средним ($A_{\text{пр ср}}^{\text{М}}$) и дирекционным углом (α): $\delta = A_{\text{пр ср}}^{\text{М}} - \alpha$ (табл. 5.5).

Таблица 5.5

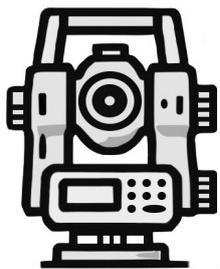
Определение склонения магнитной стрелки

Исполнитель	Сторона теодолитного хода	Магнитный азимут $A_{\text{м}}$			Магнитный румб $r_{\text{м}}$			Дирекционный угол α	Склонение магнитной стрелки	
		прямой $A_{\text{пр}}^{\text{М}}$	обратный $A_{\text{обр}}^{\text{М}}$	средний $A_{\text{пр ср}}^{\text{М}}$	прямой $r_{\text{пр}}^{\text{М}}$	обратный $r_{\text{обр}}^{\text{М}}$	средний $r_{\text{пр ср}}^{\text{М}}$		измененное δ	среднее $\delta_{\text{ср}}$
Домрачева Дарья	1–2	24°05'	204°10'	24°07,5'	СВ : 24°00'	ЮЗ : 24°30'	СВ : 24°15'	15°27'	+8°40,5'	+8°41,6'
Нестеренко Юлия	2–3	50°30'	230°30'	50°30'	СВ : 50°30'	ЮЗ : 50°30'	СВ : 50°30'	41°47'	+8°43,0'	

Окончание табл. 5.5

Исполнитель	Сторона теодолитного хода	Магнитный азимут A_m			Магнитный румб r_m			Дирекционный угол α	Склонение магнитной стрелки	
		прямой $A_{пр}^m$	обратный $A_{обр}^m$	средний $A_{пр ср}^m$	прямой $r_{пр}^m$	обратный $r_{обр}^m$	средний $r_{пр ср}^m$		измененное δ	среднее $\delta_{ср}$
Карстен Екатерина	3–4	102°05'	282°05'	102°05'	ЮВ : 72°00'	СЗ : 72°00'	ЮВ : 72°00'	93°21'	+8°44,0'	+8°41,6'
Азаренко Виктория	4–5	160°20'	340°20'	160°20'	ЮВ : 19°30'	СЗ : 20°00'	ЮВ : 19°45'	151°39'	+8°41,0'	
Глеб Александр	5–6	160°05'	340°10'	160°07,5'	ЮВ : 20°00'	СЗ : 19°30'	ЮВ : 19°45'	151°28'	+8°39,5'	

В конце следует найти среднеарифметическое значение склонения магнитной стрелки ($\delta_{ср}$). Полученное значение будет показывать поправку на склонение в данный период времени, которую необходимо использовать при нанесении буссольных ходов на планшет по полученным значениям на местности магнитных азимутов (румбов) или, наоборот, для выноски объекта в натуру.



БУССОЛЬНАЯ СЪЕМКА. ПОЛЕВЫЕ И КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

6.1. Полевые работы

Каждый студент в бригаде должен проложить буссольный ход, т. е. лично выполнить измерения буссолью и заполнить журнал, при этом другие студенты бригады работают как помощники. Количество буссольных ходов должно быть не меньше числа студентов в бригаде.

Для выполнения работ каждая бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: буссоль и штатив к ней, вешки 2 шт., мерную ленту со шпильками, колышки и сторожки – по 20 шт., топор, журнал буссольной съемки, маркер, тетрадь-дневник практики с ручкой и калькулятор.

Рекогносцировка участка и закрепление его вершин. Бригада обходит участок по его периметру и внутренним дорогам, квартальным просекам и т. д. Осматривается местность, выбираются поворотные точки, составляется абрис съемки участка, закрепляются точки на местности. При буссольной съемке применяется *метод обхода* по границе контура по часовой стрелке.

Буссольный ход необходимо прокладывать между пунктами с известными координатами. Если поблизости нет точек теодолитного хода, то начальный и конечный пункты буссольного хода привязывают измерениями к осям пересечения квартальных просек, если есть – между направлением на первую точку и первой стороной хода проектируют измерение привязочного угла.

Вершины полигона выбирают в местах, удобных для установки буссоли, вдали от мест, где показания магнитной стрелки могут быть искажены, должна быть взаимная видимость между соседними вершинами. Стороны буссольных ходов не должны превышать 150 м. Вершины полигона закрепляются на местности колышками, забитыми на уровне поверхности земли, рядом забивается сторожок, на котором записывается порядковый номер точки (А – 1-й буссольный, Б – 2-й, В – 3-й и т. д.) и номер бригады (например, А1/11). На всем участке нумерация точек сквозная. В замкнутом ходе точки нумеруют по ходу часовой стрелки.

Результаты рекогносцировки отображают на глазомерно составленном абрисе в журнале буссольной съемки (рис. 6.1), на нем указываются точки хода с их номерами, примерное расположение снимаемых контуров и объектов.

Измерение длин линий и направлений. После закрепления точек на местности приступают к измерениям. Техника измерения длин сторон аналогична выполняемой в теодолитном ходу (см. день № 2), но с относительной погрешностью в среднем 10–20 см на 100 м (или $1/500$ – $1/1000$). Углы измеряются буссолью с погрешностями до 10–30'.

Порядок работ для измерения горизонтальных углов и направлений следующий.

1. *Установка буссоли.* Используется специальный деревянный штатив или необходимо заготовить кол (или вешку) диаметром около 3–5 см, заострить внизу, а вверху стесать под глухое отверстие оси буссоли. Высота буссоли в итоге должна быть на 10–20 см ниже уровня глаз мерщика. Нужно отвернуть закрепительный винт, отсоединить ось втулки, которую затем плотно насадить на штатив или кол. Воткнуть штатив устойчиво вертикально в землю и насадить буссоль переходной втулкой на ось. Центрируют буссоль с точностью 5 см, горизонтируют на глаз.

2. Устанавливают вешки на заднюю и переднюю точки.

3. Приступают к измерению *горизонтального угла*: закрепляют буссоль на стойке, зажав закрепительный винт, раскрывают предметный и глазной диоптры. Поворотом алидады наводят предметный диоптр на заднюю вешку, снимают отсчет по лимбу верньера при глазном диоптре (без использования магнитной стрелки) и заносят результат в журнал (рис. 6.1). Поворотом алидады наводят нить предметного диоптра на переднюю вешку и по лимбу верньера при глазном диоптре также снимают отсчет с записью в журнал (рис. 6.1). От заднего отсчета отнимают передний и получают значение горизонтального угла между двумя точками.

Примечание. Можно использовать второй способ – совмещения нуля верньера с нулем лимба при ориентировании на переднюю вешку (см. день № 5).

Для измерения *магнитных азимутов направлений и румбов* плотно закрепляют буссоль на штативе и поворачивают крышку против часовой стрелки до упора для приведения магнитной стрелки в рабочее положение. Совмещают на лимбе отметку $0^{\circ}00'$ верньера при глазном диоптре с 0° шкалы румбического кольца (позиция «три нуля») и зажимают закрепительный винт. Поворотом алидады через предметный

диоптр совмещают нить предметного диоптра с визируемой точкой, румб или азимут направления на которую определяется (если на заднюю точку – это будет обратный азимут, если на переднюю – прямой). С помощью верньера при глазном диоптре снимают отсчет по лимбу – для магнитного азимута; для румбов – по северному концу магнитной стрелки (обозначена черным цветом) и заносят данные в журнал буссольной съемки (рис. 6.1).

«15» июня 2023 г. Выполнил *бригада № 11*
в 30 квартале 12 выделе *Центрального лесничества НУОЛ* лесхоза

Номер точки станции	№ точки визируемая	Отсчеты по горизонтальному кругу	Горизонтальный угол	Магнитный азимут (или румб)		Контроль (горизонтальный угол)	Угол наклона	Длина линии, м		Дополнительная информация
				обратный	средний			прямая	средняя	
Рп 29	1	109°50'	218°30'	348°45'	–	218°25'		43,79	43,77	
	Б1	251°20'		130°20'				43,74		
	Рп 29	352°55'		310°25'	130°22,5'			31,05		
Б1	Б2	169°10'	183°45'	126°45'		183°40'		31,09	31,07	
	Б1	62°15'		306°50'	126°47,5'			50,65		
Б2	Б3	238°00'	184°15'	122°35'		184°15'		50,71	50,68	
	Б2	147°10'		302°25'	122°30'			48,06		
Б3	Б4	3°05'	144°05'	158°20'		144°05'		48,00	48,03	
	Б3	196°50'		338°20'	158°20'			106,63		
Б4	Рп 28	30°20'	166°30'	171°40'		166°40'		106,75	106,69	
Рп 28	Б4			351°40'	171°40'					

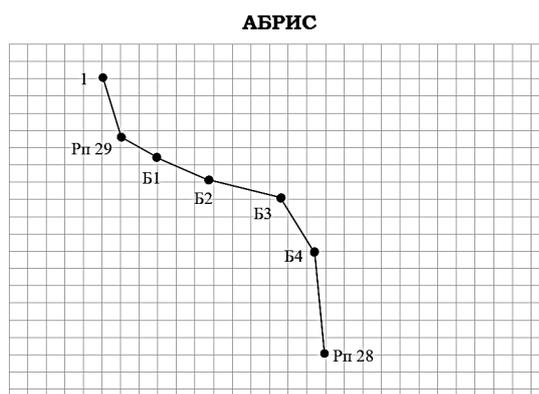


Рис. 6.1. Журнал буссольной съемки (фрагмент)

Важно! После выполнения измерительных работ для переноса прибора необходимо магнитную стрелку заарретировать, т. е. снять с иглы и прижать к стеклу – повернуть крышку по часовой стрелке.

После измерений на точке в журнале буссольной съемки следует выполнить контроль – разница между двумя горизонтальными углами не должна превышать $\pm 30'$. Кроме того, в процессе измерений на следующих станциях следует контролировать значения прямого ($A_{пр}$) и обратного ($A_{обр}$) магнитных азимутов. Например, прямой магнитный азимут направления Б1–Б2 (рис. 6.1) равен $126^\circ 45'$ (он определен из вершины Б1 на точку Б2), а обратный магнитный азимут направления Б2–Б1 равен $196^\circ 50'$ (измерен из вершины Б2 на точку Б1). Разница между ними составляет $360^\circ 50'$, а допустимая разница не должна превышать $\pm 180^\circ \pm 30'$.

После успешного текущего контроля (иначе перемеряют или пересчитывают для нахождения ошибки) переходят на следующую точку и повторяют измерения на других пунктах буссольного хода.

6.2. Обработка данных буссольной съемки

Если буссольный ход замкнутый и измерены все внутренние углы, то угловая невязка f_β в полигоне представляет собой отклонение

практической суммы $\sum \beta_{\text{изм}}$ углов от ее теоретического значения $\sum \beta_{\text{теор}}$, т. е. $f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}}$. Практическую сумму углов замкнутого буссольного хода получают из результатов измерения внутренних углов, а теоретическую подсчитывают по геометрической формуле $\sum \beta_{\text{теор}} = 180^{\circ} \cdot (n - 2)$, в которой n – число углов многоугольника. Допустимая угловая невязка – не более $\pm 2' \cdot t \cdot \sqrt{n}$, где t – точность снятия отсчетов по лимбу.

Высчитываются по формулам (5.1) и (5.2) (см. с. 68) прямые средние значения магнитных азимутов. Данные из журнала буссольного хода (рис. 6.1) переносят в табл. 15, в которой выполняют все дальнейшие необходимые расчеты. Вычисляют средние значения сторон хода и, используя значение угла наклона, если он был измерен (при крутизне линии на местности более 4°), определяют горизонтальное проложение (см. пункт 1.2.2), иначе просто переписывают средние значения длин сторон. В зависимости от принятого масштаба планшета по горизонтальному проложению определяют плановое (например, при масштабе 1 : 1000 (1 мм – 1 м) длина стороны 43,77 м на местности (рис. 6.1) будет равна 43,8 мм на плане). Подсчитывают сумму плановых проложений.

Из табл. 14 выписывают среднее значение поправки на склонение магнитной стрелки, с использованием которой затем по формуле (5.3) пересчитываются магнитные азимуты в дирекционные углы (результаты заносятся в табл. 6.1).

Таблица 6.1

**Журнал буссольного хода с полевым абрисом в 49 квартале 28 выделе
Центрального лесничества Негорельского уч.-оп. лесхоза**

Номер точек	Горизонтальный угол	Магнитный азимут A^M			Склонение магнитной стрелки $\delta_{\text{ср}}$	Дирекционный угол α	Горизонтальное проложение d (0,01 м)	Плановое проложение $d_{\text{п}}$ (0,1 мм)	Абрис буссольного хода
		прямой $A_{\text{пр}}^M$	обратный $A_{\text{обр}}^M$	средний $A_{\text{пр ср}}^M$					
Рп 29	218°30'	–	–	–	–	–	–		
Б1	183°45'	130°20'	310°25'	130°22,5	+8°41,6'	139°4,1'	43,77		43,8
Б2	184°15'	126°45'	306°50'	126°47,5		135°29,2'	31,07		31,1
Б3	144°05'	122°35'	302°25'	122°30'		131°11,6'	50,68		50,7
Б4	166°30'	158°20'	338°20'	158°20'		167°1,6'	48,03		48,0
		171°40'	351°40'	171°40'		180°21,6'	106,69		106,7
Рп 28	–	–	–	–			$\sum d_{\text{п}} = 280,3$		Рп 28

6.3. Нанесение буссольных ходов

Буссольные ходы могут наноситься графически – по горизонтальным или дирекционным углам, магнитным азимутам и румбам, или аналитически – по координатам (конкретный способ устанавливается руководителем практики), но предварительно должны быть нанесены все точки теодолитного хода (см. рис. 4.4 на с. 60).

На планшете находят первый и последний пункты буссольного хода в соответствии с данными их привязки к точкам теодолитного хода. Для нанесения точек буссольного хода *по горизонтальным углам* с помощью транспортира его нужно установить в точке привязки (точка Рп 29, рис. 6.2, а) с ориентированием 0° на заднюю привязочную точку (точка 1, рис. 6.2, а) и отложить горизонтальный угол из журнала буссольной съемки (рис. 6.1) *с правой стороны* по ходу часовой стрелки (рис. 6.2, а), а затем по отложенному направлению отмерить с помощью линейки отрезок, равный длине линии на плане (плановое проложение) из журнала буссольной съемки (рис. 6.1). Окончание отложенного отрезка и будет положением искомой точки. Затем транспортир нужно установить на следующую точку и повторить операции по нанесению горизонтального угла и отложению расстояния. Данную операцию повторяют, пока не будут нанесены все точки буссольного хода (рис. 6.2, а).

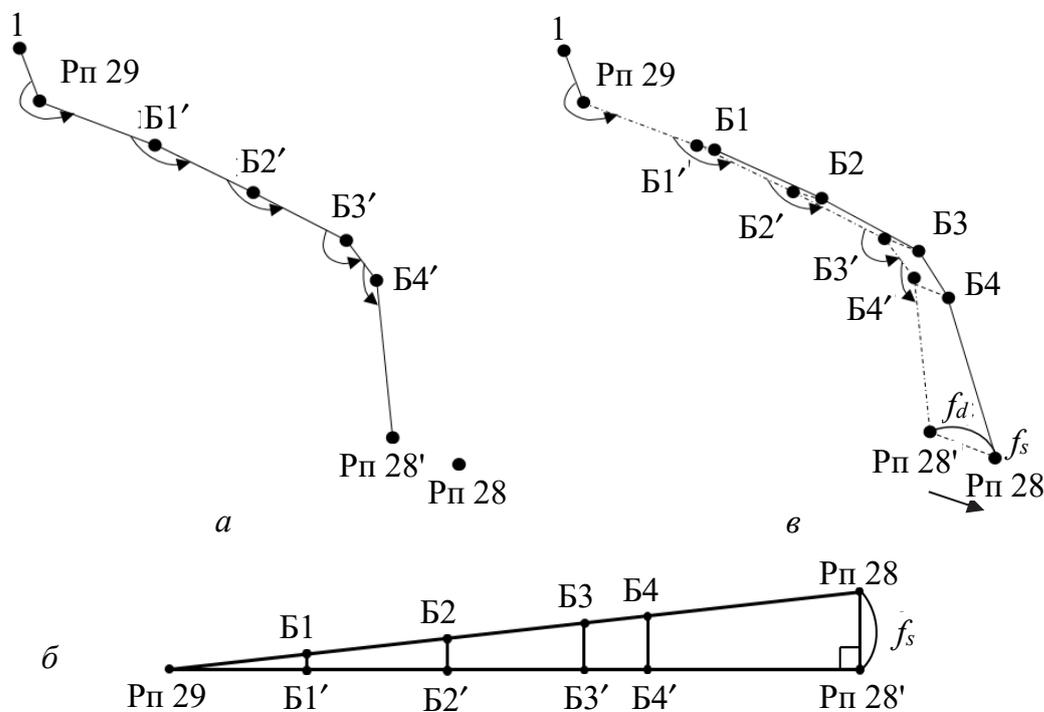


Рис. 6.2. Пример построения по горизонтальным углам буссольного хода (а, б) и его уравнивание (в)

Чаще всего по окончании графических построений конечная точка будет располагаться немного в стороне от истинного ее положения на планшете (рис. 6.2, а) – это отклонение называется графической невязкой (f_s). Она не должна превышать допустимую невязку ($f_{s \text{ доп}}$, мм), которая составляет 1/100 от длины хода $\Sigma d_{\text{п}}$:

$$f_{s \text{ доп}} = \frac{\Sigma d_{\text{п}}}{100}. \quad (6.1)$$

Если невязка допустима, то в положение пунктов на планшете вводят поправки по способу параллельных линий. Величины смещения (поправки) определяют графическим или аналитическим способом.

Графический метод. Для этого на вспомогательной прямой Рп 29–Рп28' (рис. 6.2, б) в заданном масштабе последовательно откладывают стороны буссольного хода: Рп 29–Б1', Б1'–Б2', Б2'–Б3', Б3'–Б4', Б4'–Рп28'. От точки Рп28' на ней строят перпендикуляр к линии Рп 29–Рп28' высотой, равной длине (измеренной линейкой) невязки хода f_s – Рп 28–Рп28'; точку Рп28 соединяют наклонной прямой с точкой Рп 29. В точках Б1, Б2, Б3, Б4 поднимают перпендикуляры к линии Рп 29–Рп28' до пересечения с наклонной Рп 29–Рп 28. Длина этих перпендикуляров является поправкой, которая вносится в соответствующие точки.

Через предварительно нанесенные точки на плане Б1', Б2', Б3', Б4' проводят линии (рис. 6.2, в), параллельные отрезку невязки, т. е. линии Рп 28'–Рп28. Положение точек переносят на плане в конечное положение по параллельным линиям *только в одном направлении* в сторону точки Рп 28 на величину соответствующих поправок, взятых из графика (рис. 6.2, б). Получают исправленное положение точек Б1, Б2, Б3, Б4. Последовательно соединив их между собой прямыми линиями (включая точку Рп 29), создают увязанный (уравненный) буссольный ход (на рис. 6.2, в он показан сплошными линиями), первоначально нанесенные точки и линии удаляют.

Аналитический метод. Так как поправки являются частями линейной невязки, их можно также вычислить по формуле

$$v_l = \frac{f_s}{P_s} \cdot P_l, \quad (6.2)$$

где v_l – величина смещения данной точки; P_s – длина периметра всего полигона; P_l – расстояние от данной точки до начальной.

Для нанесения точек буссольного хода *по дирекционным углам (магнитным азимутам или румбам)* с помощью транспортира нужно

через точку привязки (точка Рп 29, рис. 6.2, а, б) провести линию, параллельную осевому меридиану. С помощью транспортира от северного конца меридиана вправо (по ходу часовой стрелки) откладывают дирекционный угол (азимут или румб) первой линии (рис. 6.3, а, б). Вдоль намеченного направления с помощью линейки в соответствии с принятым масштабом откладывают длину (плановое проложение) первой линии, в конце которой определяют положение следующей точки и т. д. до последней опорной вершины (рис. 6.3, а).

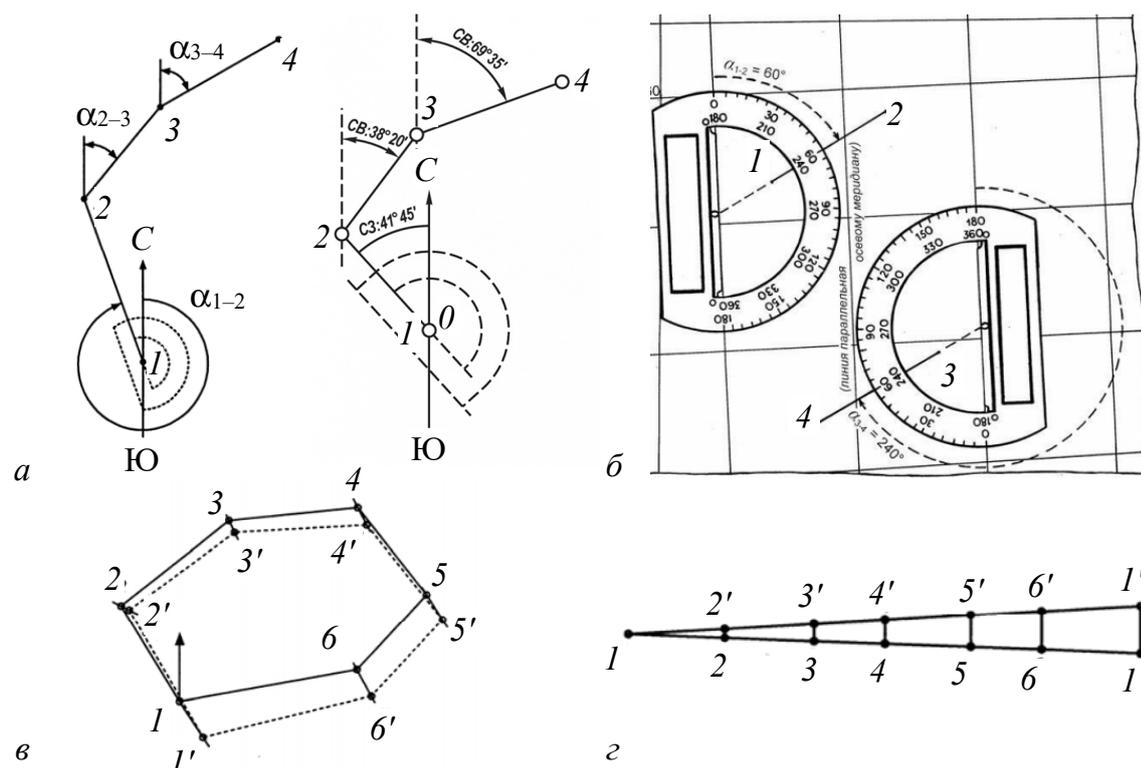
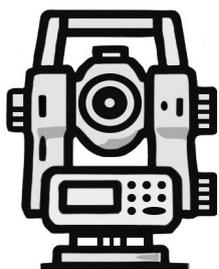


Рис. 6.3. Пример построения по дирекционным углам буссольного хода (а, б, в) и его уравнивание (г)

Примечание. Можно, наоборот, на транспортире отложить необходимый дирекционный угол или азимут (румб), тогда нулевое значение на транспортире и будет искомым направлением (рис. 6.3, а).

Если же снова происходит несовпадение точек из-за погрешностей при измерении (рис. 6.3, в), то при допустимой невязке f_s доп (вычисленной по формуле (6.1)) в положение каждой точки буссольного хода опять вводят поправку (рис. 6.3, г) и находят исправленное положение точек тем же методом параллельных линий.

Построение буссольного хода по координатам. Основано на формулах (4.10) и (4.11) (см. с. 52) определения приращений координат, в результате камеральной обработки координаты точек



БУССОЛЬНАЯ СЪЕМКА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ

Границы участков леса, площади которых необходимо определить на плане или карте, могут иметь прямолинейное или произвольное (криволинейное) очертание.

При прямолинейных очертаниях определение площади возможно *графическим* (разбивают участок на плане на простые геометрические фигуры (рис. 7.1) и определяют их площади по формулам) и *аналитическим* (по координатам вершин) (рис. 7.2) способами. При криволинейных очертаниях границ участков леса определение площади происходит *механическим* (при помощи специальных приборов, например, планиметров) и *графическим* (палетки) способами. Нередко применяют их сочетания, т. е. комбинируют эти способы.

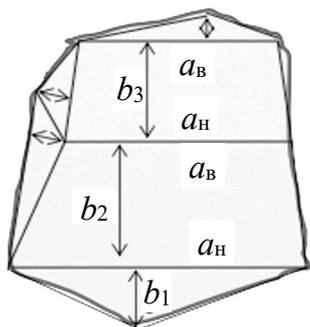


Рис. 7.1. Деление участка на правильные геометрические фигуры (графический способ)

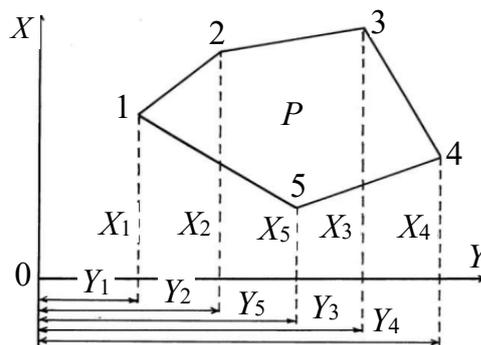


Рис. 7.2. Аналитический способ определения площади (по координатам вершин)

Наиболее точным считается аналитический метод (предпочтителен для больших участков), так как точность аналитического способа зависит только от качества полевых измерений и камеральной обработки. При этом применяют формулы:

$$P = \frac{1}{2} \sum_1^n X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1}); \quad P = \frac{1}{2} \sum_1^n Y_i \cdot (X_{i-1} - X_{i+1}), \quad (7.1)$$

где P – площадь участка, m^2 ; X_i, Y_i – прямоугольные координаты i -й точки теодолитного хода; $X_{i+1}, Y_{i+1}, X_{i-1}, Y_{i-1}$ – прямоугольные координаты следующей ($i + 1$) или предыдущей ($i - 1$) точки, м.

Общая площадь лесоучастка определяется по координатам вершин основного теодолитного хода (табл. 4.1 на с. 49–50) и результаты расчетов заносятся в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Определение общей площади участка аналитическим способом

Номер точки	$X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}), \text{м}^2$	$Y_{i+1} - Y_{i-1}, \text{м}$	$X_i, \text{м}$	$Y_i, \text{м}$	$X_{i-1} - X_{i+1}, \text{м}$	$Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}), \text{м}^2$
Рп 29	-1 608 007,062	-150,349	10 695,163	10 312,231	-274,68	-2 832 522,362
1	25 839,789	2,405	10 744,195	10 298,537	-107,31	-1 105 187,498
2	885 511,529	81,973	10 802,478	10 314,636	-132,03	-1 361 820,762
3	1 951 379,302	179,417	10 876,223	10 380,510	-67,11	-696 667,168
4	1 660 134,373	152,732	10 869,591	10 494,053	79,27	831 863,581
5	761 152,796	70,497	10 796,953	10 533,242	130,23	1 371 701,973
6	683 775,370	63,670	10 739,365	10 564,550	140,18	1 480 928,054
7	757 792,542	71,109	10 656,774	10 596,912	190,43	2 018 001,743
8	844 114,990	80,019	10 548,932	10 635,659	158,33	1 683 911,982
9	551 399,433	52,522	10 498,447	10 676,931	82,17	877 344,774
10	167 384,426	15,992	10 466,760	10 688,181	81,76	873 812,238
11	-1 004 262,859	-96,409	10 416,692	10 692,923	10,99	117 557,995
12	-1 735 427,129	-165,978	10 455,766	10 591,772	-39,14	-414 561,956
13	-1 323 415,568	-126,572	10 455,832	10 526,945	-11,63	-122 407,316
14	-817 074,308	-78,059	10 467,394	10 465,200	-13,69	-143 237,192
Рп 28	-1 601 511,852	-152,969	10 469,519	10 448,886	-227,77	-2 379 932,315
–	$2P_x =$ $= 198 785,772$	$\Sigma = 0$	–	–	$\Sigma = 0$	$2P_y =$ $= 198 785,771$
–	$P_x = 99 392,886$		–	–		$P_y = 99 392,886$
$P = (P_x + P_y) / 2 = 99 392,886 \text{ м}^2 = 9,94 \text{ га}$						

В результате общая площадь многоугольника по табл. 4.1 составила 99 393 м² (можно округлять значения до целых, так как итоговые результаты приводятся в гектарах), что равно 9,94 га.

Примечание. Промежуточным контролем являются нулевые суммы столбцов $\sum(Y_{i+1} - Y_{i-1}) = \sum(X_{i-1} - X_{i+1}) = 0$ и равенство $P_x = P_y$.

Для определения площадей небольших участков произвольной конфигурации применяют палетки – квадратные, параллельные (линейные) и точечные (рис. 7.3).

Палетки изготавливают на кальке (восковке) и представляют собой сеть линий (точек), проведенных через 2, 5 или 10 мм. Квадратная палетка применяется для малых участков, имеющих площадь на планшете до 2 см². Подсчитывают число полных клеток, доли неполных клеток учитывают на глаз (или просто считают 2 за 1 – «вес» 0,5). Точность измерения – примерно 1/50.

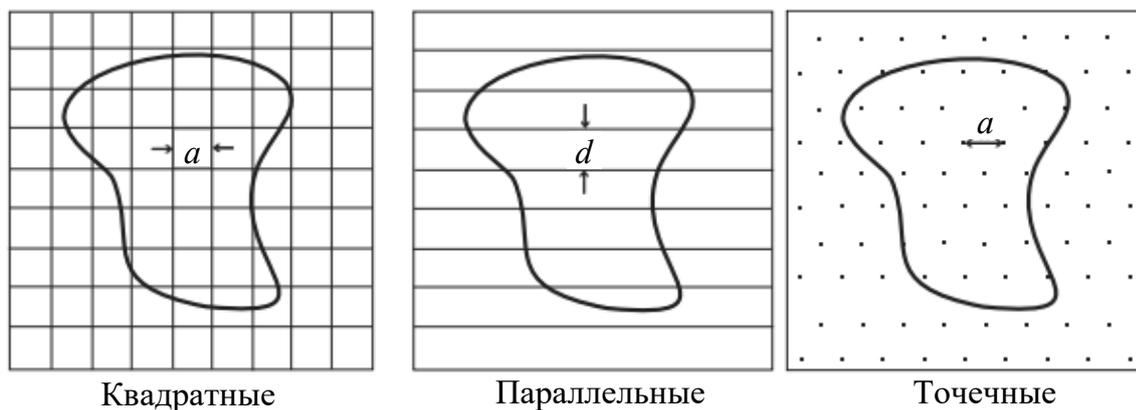


Рис. 7.3. Разновидности палеток

Палетка, состоящая из точек, расположенных по квадратной сетке, представляет собой лишь видоизмененный вариант квадратной палетки, поскольку каждая точка является центром квадрата (рис. 7.3). Подсчет площади ведется аналогично квадратной палетке (если точка попадает на контур измеряемого участка, то ее суммируют с весом 0,5, т. е. две точки, лежащие на контуре, считают за одну). Площадь вычисляется по формуле

$$P = a^2 \cdot (n + m), \quad (7.2)$$

где a – сторона квадрата палетки (расстояние между точками), выраженная в масштабе планшета; n – число квадратов (точек), попавших в пределы контуров; m – число квадратов (точек), принятых за 0,5.

Наиболее часто в лесном хозяйстве используется линейная палетка из параллельных линий (применяют для участков, площадь которых на планшете до 10 см^2), которая выдается преподавателем или вычерчивается самостоятельно. Для этого на листе кальки формата А4 наносятся параллельные линии, расстояния между которыми принимается 1 см (10 мм). Накладывают палетку на контур участка так, чтобы одна из ее линий совпала с любой стороной измеряемого участка (рис. 7.4). При криволинейном участке линейную палетку накладывают на контур фигуры так, чтобы крайние точки контура A и B разместились как можно точнее посередине между параллельными линиями палетки (рис. 7.5).

В результате измеряемый участок становится рассеченным параллельными линиями палетки на фигуры, имеющие форму, близкую к трапеции, с одинаковыми высотами. Далее последовательно измеряют основания всех трапеций a_1, a_2, \dots, a_n (основания трапеций изображены пунктиром) с точностью масштаба планшета, используя для этого поперечный масштаб. Так как высоты всех трапеций

постоянны и равны расстоянию h между линиями палетки, то площадь участка равна

$$P = h \cdot (a_1 + a_2 + \dots + a_n) = h \sum_{i=1}^n a_i, \quad (7.3)$$

где h – высота трапеций, равная расстоянию между линиями палетки в масштабе плана, м.

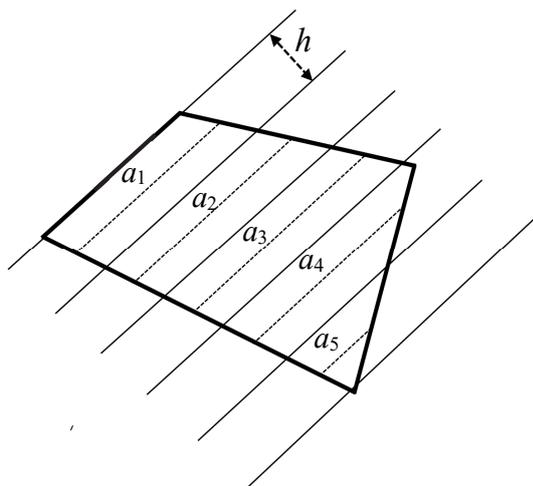


Рис. 7.4. Определение площади при помощи параллельной палетки

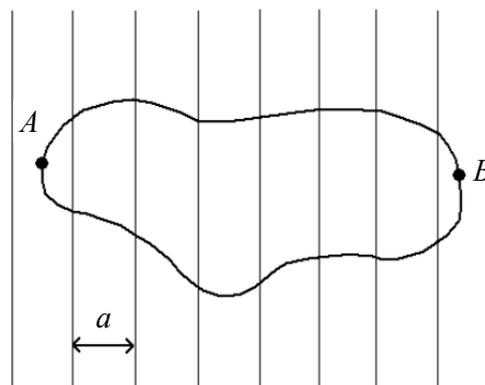


Рис. 7.5. Схема расположения линейной палетки

Для контроля и уточнения результата палетку поворачивают на $45-90^\circ$ и повторяют измерение площади, результаты заносятся в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Ведомость вычисления площади, определяемой линейной палеткой

Номер основания трапеции	Измерение № 1 (a' , см)	Измерение № 2 (a'' , см)
1	1,9	1,8
2	3,5	3,6
...
<i>Итого</i>	$\sum a' = 19,7$	$\sum a'' = 20,0$

Если разница площадей в двух измерениях (или сумм длин линий $\sum a$) будет меньше или равной допустимой (не более $\pm 2\%$, или $\pm 1/50$ от минимального $\sum a_{\text{мин}}$ из двух измерений), то за итоговое значение берется среднеарифметическое значение. В противном случае необходимо повторить измерение площади еще раз.

Например, если суммы отсчетов по палетке равны $\sum a' = 19,7$ см; $\sum a'' = 20,0$ см, то допустимая ошибка отсчетов равна: $\Delta a' = \sum a_{\text{мин}} / 50 = 19,7 / 50 = 0,4$ см. Разница отсчетов $\sum a' - \sum a'' = 20,0 - 19,7 = 0,3$ см – допустимая ($0,3 < 0,4$), и можно вычислять среднеарифметическое значение: $\sum a_{\text{ср}} = (19,7 + 20,0) / 2 = 19,85$ см.

Если масштаб планшета 1 : 1000 (т. е. 1 см – 10 м, а 1 мм – 1 м), то высота трапеции $h = 1$ см в этом масштабе будет равна 10 м, а сумма $\sum a_{\text{ср}} = 19,85$ см – 19,85 м; соответственно, в масштабе 1 : 1000 площадь контура лесоучастка будет равна $P = 19,85 \text{ м} \times 10 \text{ м} = 198,5 \text{ м}^2$, или 0,02 га.

Чтобы не выполнять подобных вычислений, строят специальную шкалу (для требуемого масштаба планшета), по которой отсчитывают площадь контура, зная сумму средних линий.

При механическом способе применяют линейные и полярные (рис. 7.6) планиметры. Полярные бывают с одной или двумя каретками (каретка – часть планиметра, несущая на себе счетный механизм).

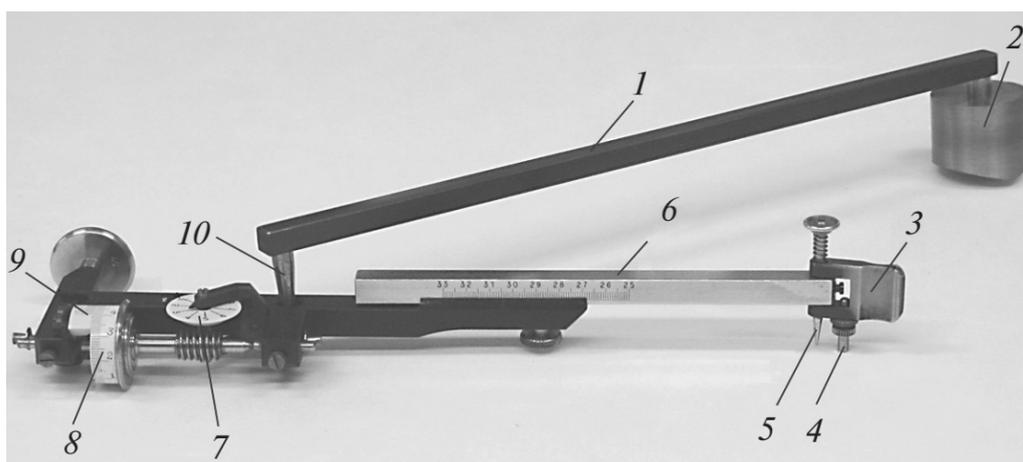


Рис. 7.6. Полярный планиметр:

- 1 – полюсной рычаг; 2 – груз с иглой (полюс); 3 – держатель;
- 4 – опорный штифт; 5 – обводной шпиль (игла); 6 – обводной рычаг;
- 7 – счетчик оборотов; 8 – счетное колесо; 9 – верньер;
- 10 – соединительный штифт

По верньеру можно отсчитывать десятые доли деления колеса или тысячные доли его оборота (рис. 7.7). Таким образом, отсчет состоит из *четырех цифр*.

Порядок снятия отсчетов по счетному механизму планиметра. Первая цифра (тысячи) берется с циферблата 1 (рис. 7.7) – меньшая относительно указателя цифра; вторая цифра (сотни)

берется со счетного ролика 2 – меньшая относительно 0 верньера цифра счетного ролика; третья цифра (десятки) берется также со счетного ролика 2 – число полных делений счетного ролика между только что взятой второй цифрой и нулем верньера (отсчитывается от младшей цифры ролика); четвертая цифра берется по верньеру 3 – номер штриха верньера, который наиболее точно совпадает с каким-либо делением счетного ролика (отсчитывается от нуля верньера).

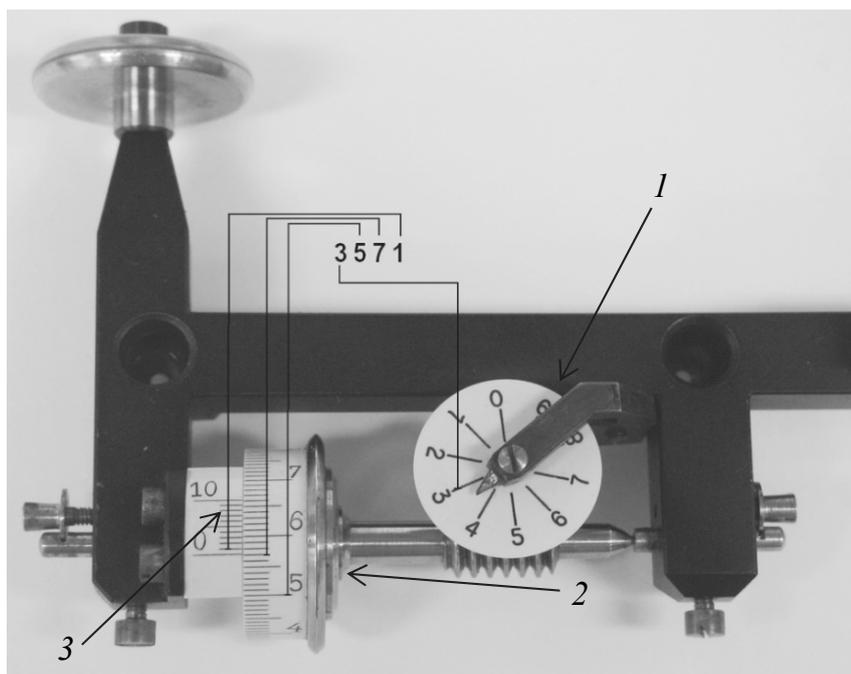


Рис. 7.7. Отчетный механизм планиметра (отсчет: **3571**):
1 – циферблат; 2 – счетный ролик; 3 – верньер

Цена деления планиметра. Перед измерением площади необходимо определить цену деления планиметра (при этом определить длину рычага планиметра и зафиксировать ее).

1. Для этого выбирают (или создают) фигуру, площадь которой известна заранее (например, один из квадратов координатной сетки). Для измерения площади данной фигуры нужно установить планиметр так, чтобы точка обвода находилась на контуре фигуры, а полюс – вне фигуры (предпочтительно). При этом место для полюса выбирают так, чтобы при обводе всего контура угол между рычагами планиметра был *не менее 30° и не более 150°* (при начале обвода этот угол должен быть около 90°).

2. Снимают начальный отсчет n_1 (рис. 7.8, а). Указатель на циферблате расположен между делениями «6» и «7», т. е. выбирают

нижнее значение – **6**. Нуль шкалы верньера расположен между делениями «63» и «64» шкалы счетного ролика, т. е. выбирают меньшее – **63**. Деление шкалы **3** верньера наиболее точно совпадает с одним из делений шкалы ролика, поэтому итоговый отсчет равен **6633**.

3. Затем следует выполнить обвод контура фигуры, ведя точку обвода против хода часовой стрелки (предпочтительно), и после возвращения планиметра в исходное положение (исходную точку) взять по счетному механизму второй отсчет n_2 , например **6517** (рис. 7.8, б).

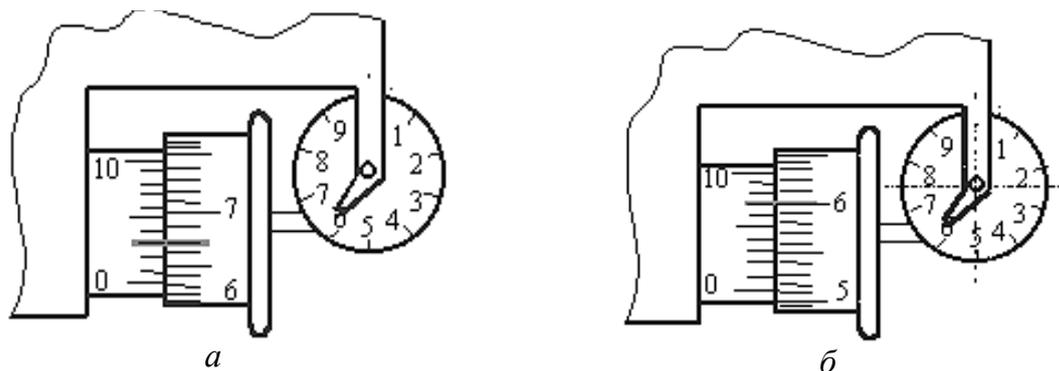


Рис. 7.8. Примеры отсчетов планиметра:
а – 6633; б – 6517

Примечание. Если при обводе против часовой стрелки конечный отсчет получится больше начального, то к начальному прибавляется 10 000.

4. Определяют разность отсчетов u_i ($u_i = n_1 - n_2$) и заносят полученные результаты в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Определение цены деления планиметра

Отсчеты планиметра n_i	Разности отсчетов u_i	Среднее из разностей u_{cp}	Цена деления планиметра c , га
6633		$(116 + 115 + 117 + 116) / 4 = 116,00$	Площадь квадрата 10×10 см в масштабе $1 : 1000$ равна 100×100 м = $10\,000$ м ² = 1,0 га $c = \frac{P}{u_{cp}}$ $c = \frac{1,0 \text{ га}}{116,0} = 0,008621$
	116		
6517	115		
6402	123		
6279			
	117		
6162			
	116		
6046			

5. Чтобы повысить точность, фигуру обводят как **минимум четыре раза** подряд. Расхождения в разностях отсчетов не должны превышать *пяти единиц* последней цифры отсчета планиметра (нормативное допустимое расхождение между разностями составляет 0,5%, т. е. если разность отсчетов в среднем составляет 1000, то допуск составляет $1000 \cdot 0,5\% / 100\% = 5$ единиц).

Отбракованные разности вычеркивают (табл. 7.3), из оставленных (*не менее четырех*) выводят их среднюю арифметическую величину $u_{\text{ср}}$ и вычисляют цену деления планиметра c (табл. 7.3), которую округляют как минимум до четырех значащих цифр.

Теперь можно вычислить площадь любой фигуры на данном планшете, определив разность отсчетов по фигуре и умножив ее на цену деления планиметра. Поэтому переходят к измерению площадей отдельных участков леса (в поперечнике не более 15–17 см), ограниченных буссольными ходами.

Принцип измерения площади лесоучастков (выделов) аналогичен измерениям по определению цены деления планиметра – разница в том, что контур лесоучастка обводят как **минимум 2 раза** подряд, расхождения в разностях отсчетов также не должны превышать *пяти единиц*, но вот таких разностей должно быть *не менее двух*.

Все отсчеты по определению площадей (как планиметром, так и палеткой) заносятся в специальную ведомость (табл. 7.4). Так как измерения площадей сопровождаются неизбежными погрешностями, то их необходимо устранить. Для этого выполняется увязка площадей лесоучастков.

Увязка площадей лесоучастков. Общую площадь P_i определяют как сумму площадей отдельных выделов. После этого вычисляют невязку f_P по формуле

$$f_P = P_i - P_{\text{теор}}, \quad (7.4)$$

где P_i – сумма измеренных планиметром (палеткой) площадей отдельных выделов; $P_{\text{теор}}$ – теоретическая площадь участка, определяемая по координатам вершин аналитическим способом.

Допустимая невязка в сумме площадей контуров определяется по формуле

$$f_{P \text{ доп}} = \frac{1}{200} \sum P_i. \quad (7.5)$$

Если невязка f_P меньше допустимой $f_{P_{\text{доп}}}$ ($f_P \leq f_{P_{\text{доп}}}$), то она распределяется пропорционально площадям контуров с обратным знаком, т. е. в площади каждого выдела вводятся поправки:

$$v_{P_i} = -\frac{f_P}{\sum P_i} \cdot P_i. \quad (7.6)$$

После этого следует выполнить контроль, чтобы сумма всех поправок равнялась невязке с обратным знаком: $\sum v_{P_i} = -f_P$.

Таблица 7.4

Определение площадей участков механическим способом

Планиметр № 2812

Длина обводного рычага 153,4

Цена деления планиметра $c = 0,008621$

Номер контура	Название угодий, выделов	Отсчеты n_i	Разности отсчетов u_i	Среднее из разностей $u_{\text{ср}}$	Площадь $P_i = c \cdot u_{\text{ср}}$, га	Поправки v_{P_i} , га	Уравненная площадь $P_{\text{ур}}$, га
1	Кв. 1, выдел 1	9790					
	<i>вырубка</i>	9622	168				
		9456	166	167	1,44	+0,01	1,45
2	Кв. 1, выдел 2	6232					
	<i>ель</i>	6048	184				
		5858	190				
		5678	180	182	1,57	+0,01	1,58
3	Кв. 1, выдел 3	5229					
	<i>пашня</i>	5167	62				
		5106	61	61,5	0,53	+0,00	0,53
4	И т. д.	6,35	+0,03	6,38
					$\sum P_i = 9,89$	$\sum v_{P_i} = 0,05$	$\sum P_{\text{ур}} = 9,94$

Примечание. Пример вычислений:

$$f_P = 9,89 - 9,94 = -0,05 \text{ га};$$

$$f_{P_{\text{доп}}} = \pm 9,89/200 = \pm 0,05 \text{ га } (f_P \leq f_{P_{\text{доп}}});$$

$$v_{P1} = +0,05 \cdot 1,44 / 9,89 = +0,01 \text{ га};$$

$$P_{\text{ур}1} = 1,44 + 0,01 = 1,45 \text{ га};$$

$$v_{P2} = +0,05 \cdot 1,57 / 9,89 = +0,01 \text{ га};$$

$$P_{\text{ур}2} = 1,57 + 0,01 = 1,58 \text{ га};$$

$$v_{P3} = +0,05 \cdot 0,53 / 9,89 = +0,00 \text{ га};$$

$$P_{\text{ур}3} = 0,53 + 0,00 = 0,53 \text{ га};$$

$$v_{P4} = +0,05 \cdot 6,35 / 9,89 = +0,03 \text{ га};$$

$$P_{\text{ур}4} = 6,35 + 0,03 = 6,38 \text{ га};$$

$$\sum v_{P_i} = 0,01 + 0,01 + 0,0 + 0,03 =$$

$$\sum P_{\text{ур}} = 1,45 + 1,58 + 1,91 + 6,38 =$$

$$= +0,05 \text{ га} = -f_P.$$

$$= 9,94 \text{ га} = P_{\text{теор.}}$$

По измеренным планиметром (палеткой) площадям и поправкам определяют *уравненные площади*:

$$P_{упi} = P_i + \nu P_i. \quad (7.7)$$

Для *контроля* увязанная площадь должна быть равна площади участка, определенной аналитическим способом ($\sum P_{уп} = P_{теор}$).

Стремительное развитие технологий привело к тому, что на смену механическим пришли электронные планиметры (рис. 7.9), имеющие высокую точность измерений до $\pm 0,1\%$.

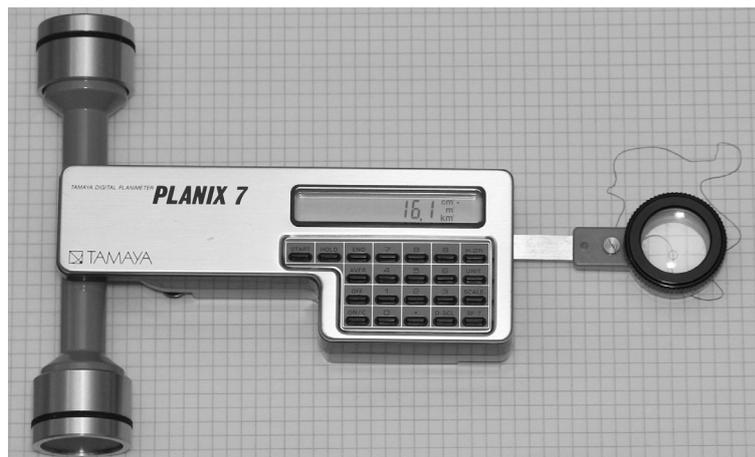


Рис. 7.9. Электронный линейный роликовый планиметр Planix 7

После уравнивания площадей лесучастков данные наносятся на планшет в формате: номер выдела – площадь выдела – элемент леса (при его наличии), например: 1 – 1,45 – Е, что означает – выдел № 1 площадью 1,45 га с преобладающей породой (элементом леса) елью. Планшет окончательно оформляется и подписывается (рис. 7.10, 7.11).

Оформление зависит от принятого масштаба плана. Вокруг линии координатной сетки на расстоянии 14 мм проводят вторую линию толщиной 2 мм. Убирают все вспомогательные линии (рис. 7.11). Линии координатной сетки заменяют на перекрестия с размерами 1×1 см, выполненные зеленым цветом.

Линии теодолитного хода оставляют сплошными, буссольные – штриховыми, подписывают номера точек, уравненные площади участков (выделов), суммируют и подписывают площади по кварталам (например, $1/5,61$; рис. 7.11).

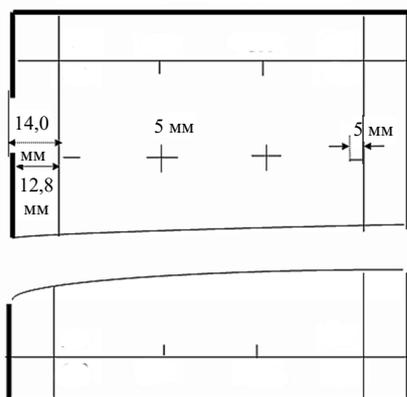


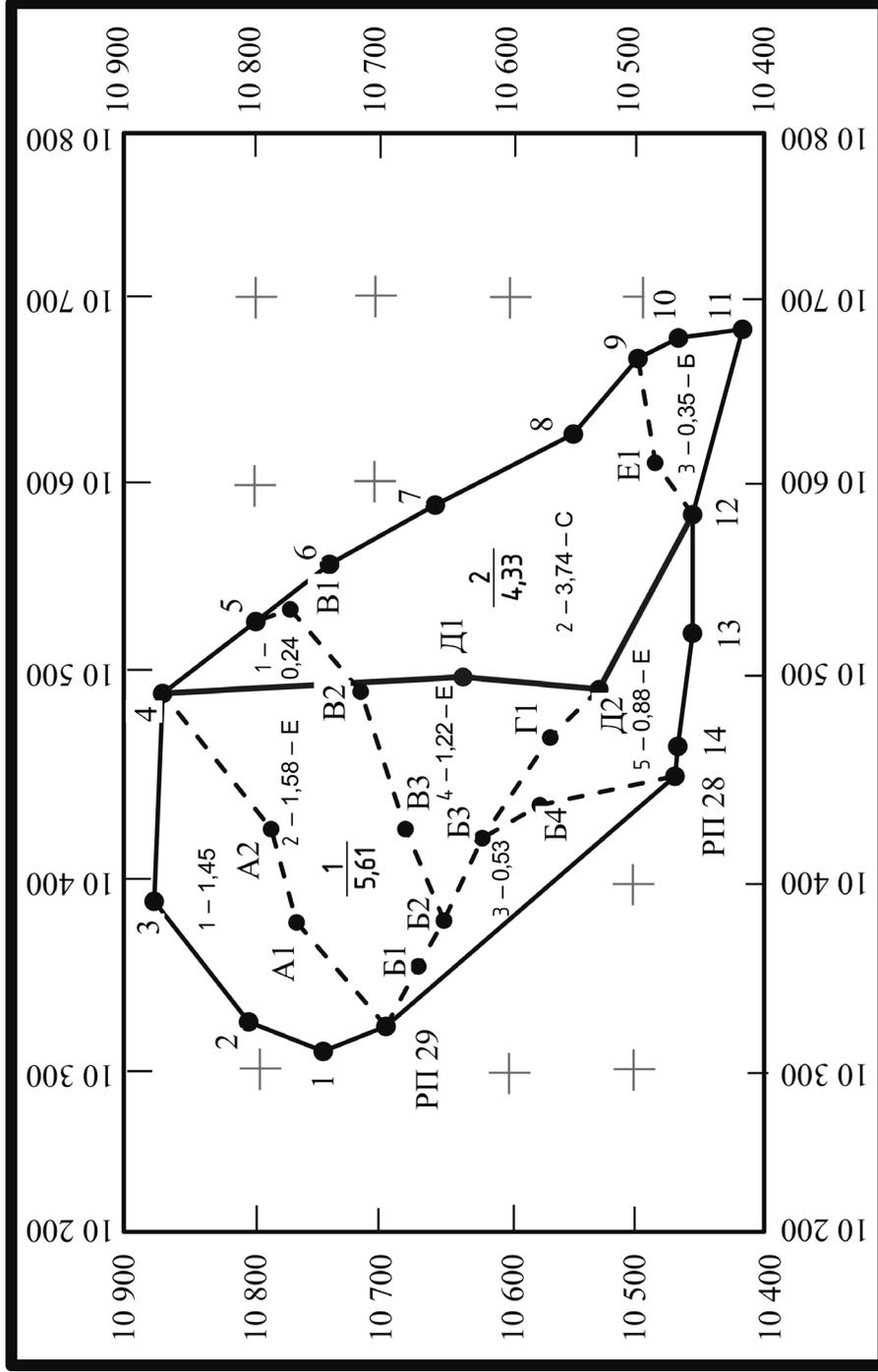
Рис. 7.10. Оформление рамок планшета

ПЛАНШЕТ №50

Лесоустройство 2024 г.

Негорельский учебно-опытный лесхоз
Центральное лесничество

Минская область
Дзержинский район



ЛХФ БГТУ

1М = 1:1000
В 1 см 10 м

Общая площадь 9,94 га

Выполнила бригада 11

Рис. 7.1.1. Пример оформления лесоустроительного планшета



ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ТРАССЕ ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ И РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

Дороги относятся к инженерным сооружениям линейного вида. *Трассой* называется ось проектируемого линейного сооружения, обозначенного на местности, карте, фотоплане или математической модели местности.

План трассы – проекция трассы на горизонтальную плоскость. В *плане* трасса состоит из прямолинейных участков разного направления, сопрягающихся между собой кривыми постоянного и переменного радиусов кривизны.

Профиль трассы – сечение поверхности Земли отвесной плоскостью, проходящей через концы отрезков трассы, т. е. это проекция трассы на отвесную плоскость. В *продольном профиле* трасса состоит из прямолинейных участков различного уклона, сопрягающихся вертикальными круговыми кривыми.

8.1. Устройство нивелира и нивелирных реек

Нивелир – прибор, в котором визирный луч приводится в горизонтальное положение.

В зависимости от того, каким способом визирный луч устанавливается в горизонтальное положение, нивелиры изготавливают в двух исполнениях:

- с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе, с помощью которого осуществляется горизонтирование визирного луча (рис. 8.1);
- с компенсатором – свободно подвешенной оптико-механической системой, которая приводит визирный луч в горизонтальное положение.

Во время учебной практики для нивелирования пунктов съемочного обоснования используется точный нивелир Н-3 с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе (рис. 8.1).

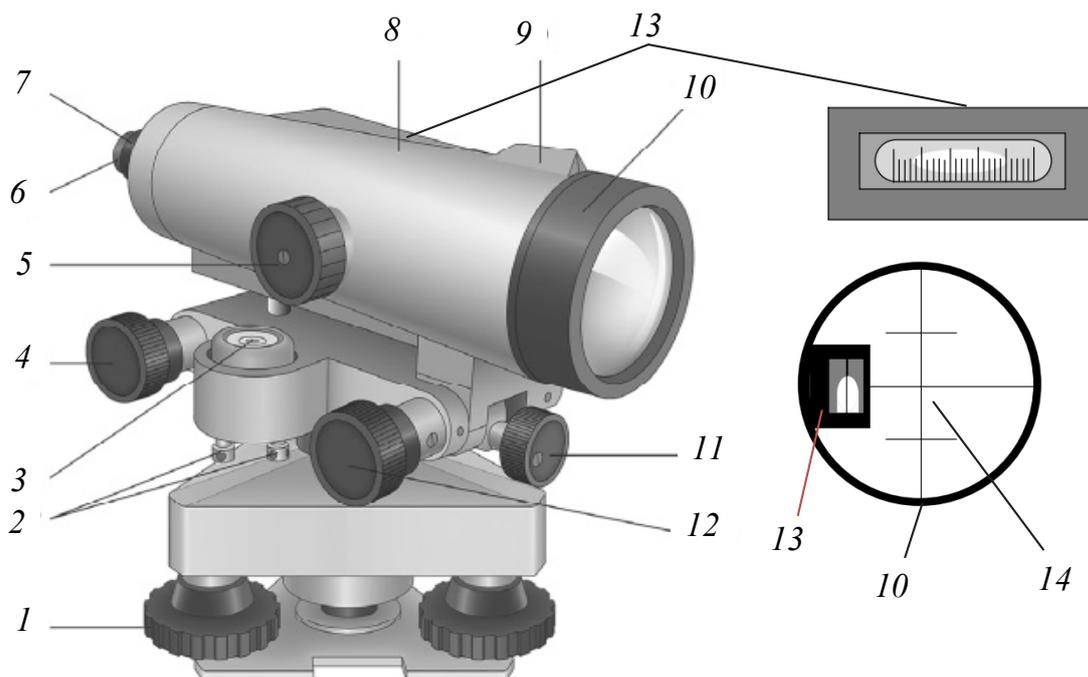


Рис. 8.1. Точный нивелир Н-3 с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе:
 1 – подъемные винты; 2 – исправительные винты круглого уровня;
 3 – круглый уровень; 4 – элевационный винт; 5 – кремальера; 6 – окуляр;
 7 – диоптрийное кольцо; 8 – корпус зрительной трубы; 9 – мушка;
 10 – объектив; 11 – закрепительный винт; 12 – наводящий винт;
 13 – цилиндрический уровень; 14 – сетка нитей

В отличие от теодолита, где снятие отсчетов происходит по расположенным внутри отсчетным приспособлениям, в нивелире отсчеты снимаются с использованием нивелирных реек.

Нивелирные рейки и их поверки. Нивелирная рейка (рис. 8.2) служит рабочей мерой для измерения превышений и расстояний. С одной стороны на рейке нанесена шкала черных и белых сантиметровых чередующихся делений (шашек), с другой стороны – красных и белых. Сторону рейки с черно-белыми делениями называют «черной», а с красно-белыми делениями – «красной». Шкала рейки разделена на дециметры (10 см), разделенные на 10 частей (по 1 см).

Начало каждого дециметра фиксируется тонким горизонтальным штрихом, от которого строится пятисантиметровая фигура в виде буквы «Е». На черной стороне деления начинаются от нуля, который совмещен с нижним концом рейки, а на красной – деления смещены и начинаются, например, с 4683, 4795, 4880. Число, с которого начинаются отсчеты по красной стороне рейки, называется *пяткой рейки*.

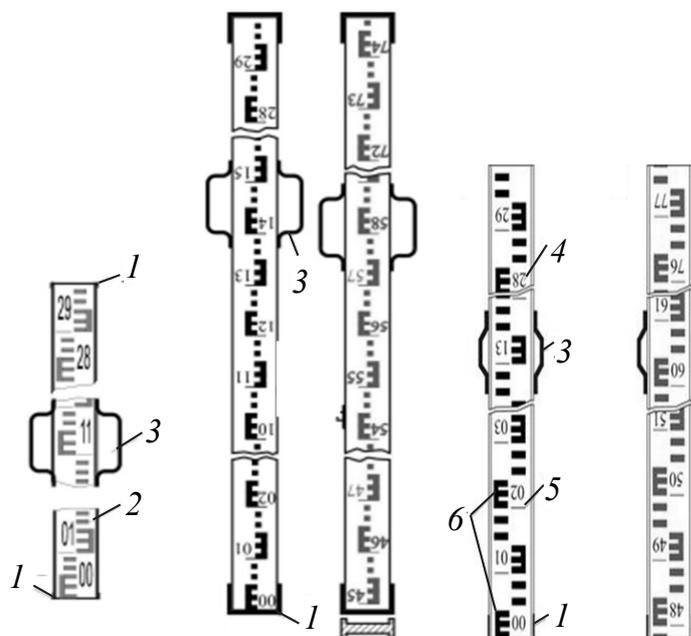


Рис. 8.2. Нивелирные рейки:

- 1 – металлические пластины; 2 – сантиметровая шкала;
 3 – ручки (держатели); 4 – дециметровые числа;
 5 – риска начала дециметра; 6 – буква «Е»

На практике для технического нивелирования применяются складные рейки РН-10-3000С (длиной 3 м), которые должны быть *парными*: отсчеты по шкале красной стороны должны начинаться с *одинакового* значения (например, 4795 мм). Тогда отсчеты по двум сторонам рейки будут разные, а разница отсчетов равна *постоянному числу* (константе).

Например, если отсчет по черной стороне рейки равен 0250, то по красной – 5045. Разница отсчетов $5045 - 0250 = 4795$ мм, т. е. равна числу, с которого начинается отсчет делений на красной стороне рейки.

Перед началом полевых работ следует выполнить *проверки реек*. При их осмотре проверяют крепление ручек, качество цвета шашек и цифр, наличие трещин и сколов на бруске рейки, качество шарнирного соединения и качество металлического крепления концов рейки. Выполняют следующие *основные проверки*:

- 1) в развернутом состоянии рейка не должна иметь стрелу прогиба свыше 10 мм. Проверяется с помощью линейки с миллиметровыми делениями относительно нити, натянутой через концы рейки;
- 2) деления рейки должны быть нанесены с погрешностями не более 1 мм. Проверяется с помощью контрольной линейки, а при ее отсутствии – при помощи рулетки с миллиметровыми делениями.

Снятие отсчета при нивелировании. Для получения значения превышения нужно выполнить следующие действия.

1. Навести зрительную трубу на нивелирную рейку (исправив фокусировку с помощью кремальеры 5 (см. рис. 8.1)), зажать закрепительный винт 11, и с использованием наводящего винта 12 осуществить точную настройку на рейку.

2. Глядя в зрительную трубу влево (рис. 8.3), вывести визирный луч в горизонтальное положение (при негоризонтальном положении оптический контакт половинок пузырьков уровня нарушен (рис. 8.3, а, б) – они будут разными по длине).

Для горизонтирования визирного луча используется элевационный винт 4 (см. рис. 8.1), вращая который, добиваются совмещения половинок пузырьков в один с равными по длине частями и образующими в верхней области общий овал (рис. 8.3, в, г).

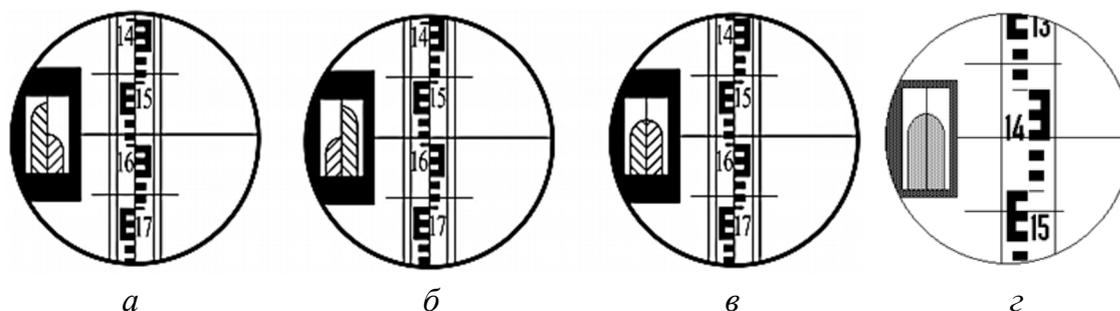


Рис. 8.3. Поле зрения зрительной трубы нивелира Н-3 при положениях пузырька цилиндрического уровня вне нуля-пункта – ошибка (а, б) и в нуля-пункте (в, г)

3. Снять отсчет из зрительной трубы по рейке. Отсчеты по рейкам (рис. 8.3, в, г) производят сверху вниз по *средней горизонтальной нити* нивелира. Для удобного снятия отсчета сантиметровые деления объединены в группы по пять в виде буквы «Е» (это 5 см). Начало каждого дециметрового деления отмечено риской и подписано двузначным числом, например 01, 02, 03 и т. д.

Отсчет берется *в миллиметрах* и всегда выражается *четырёхзначным* числом:

- 1-я и 2-я цифры – номер дециметра;
- 3-я цифра – число полных шашечных сантиметровых делений от начала дециметра до средней нити;
- 4-я цифра – число миллиметров с точностью ± 1 мм (десятые доли следующего сантиметрового деления).

Так, на рис. 8.3, *в* отсчет по рейке равен: $15 \text{ дм} + 8 \text{ см} + 8 \text{ мм} = 1588 \text{ мм}$, а на рис. 8.3, *г*: $14 \text{ дм} + 4 \text{ см} + 9 \text{ мм} = 1449 \text{ мм}$.

Примечание. Нивелиры с цилиндрическими уровнями требуют тщательной установки по уровню при работе с ними и постоянного контроля положения пузырька уровня при взятии отсчетов.

8.2. Поверки нивелира с уровнем

Перед началом полевых работ тщательно проверяют исправность всех деталей прибора, штатива и рейки. Главное условие, предъявляемое к нивелиру, – это горизонтальность визирной оси. Для обеспечения этого требования перед началом работ необходимо выполнить проверки и произвести при необходимости юстировки нивелира.

Проверка № 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

1. Закрепить нивелир на штативе. Ножки штатива вдавить в землю, при этом площадка головки штатива должна занимать на глаз горизонтальное положение.

Примечание. Нивелир закрепляют становым винтом (рис. 8.1, 8.4, *а*), закручивая его без перетяжки во избежание износа резьбы подъемных винтов подставки и деформации пружинящей пластины (трегера).

2. Расположить зрительную трубу параллельно двум подъемным винтам подставки нивелира (рис. 8.4, *б*).

3. Поочередным вращением подъемных винтов привести пузырек круглого уровня в нуль-пункт (рис. 8.4, *в*).

4. Повернуть зрительную трубу вокруг оси вращения нивелира на 180° . Если пузырек уровня не пересекает внешнюю окружность ампулы, то условие проверки выполнено.

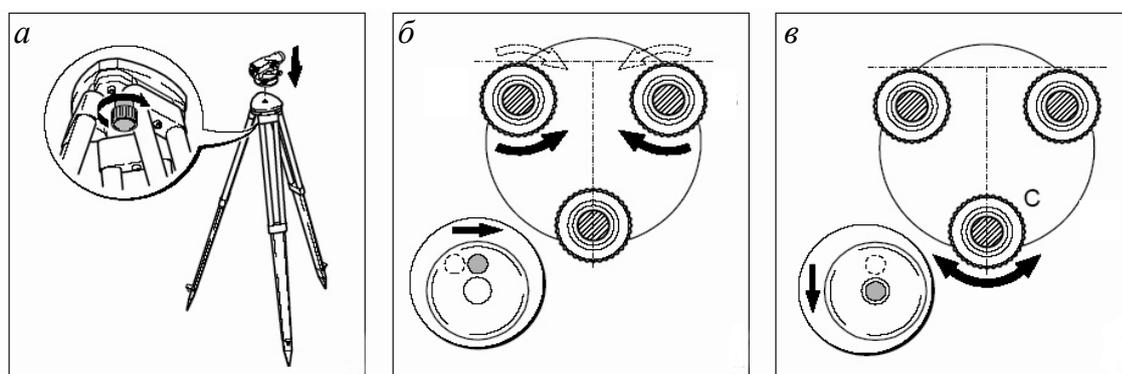


Рис. 8.4. Проверка № 1 круглого уровня нивелира

В противном случае выполняется юстировка – исправительными винтами уровня перемещают пузырек к нуль-пункту на половину величины его отклонения. После юстировки поверку повторяют.

Результаты выполнения поверки необходимо записать в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Поверка сетки нитей теодолита

Номер определения	Расположение пузырька (указать)		Результат поверки
	до поворота	после поворота на 180°	
1			Пройдена
2			Пройдена

Поверка № 2. Средняя горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.

1. Навести нивелир на рейку. Элевационным винтом привести пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт.

2. Установить отвесно нивелирную рейку на колышек на расстоянии 15–20 м от нивелира.

3. Наводящим винтом трубы сдвинуть изображение рейки влево и снять отсчет по средней горизонтальной нити (рис. 8.5).

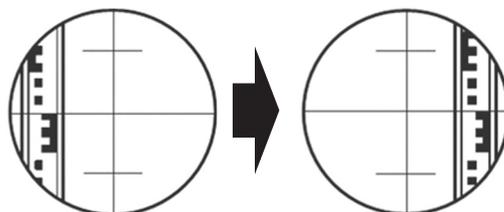


Рис. 8.5. Поверка сетки нитей нивелира

4. Сдвинуть изображение рейки вправо и снять отсчет по средней горизонтальной нити.

5. Если разность отсчетов не превышает 2 мм, то прибор прошел поверку.

Если разность больше 2 мм, то прибор неисправен, но юстировка не производится на месте, а прибор сдается в мастерскую. Результаты выполнения поверки необходимо записать в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Поверка сетки нитей нивелира

Номер определения	Отсчет		Результат поверки
	с левой стороны	с правой стороны	
1	1342	1342	Пройдена

Поверка № 3 (основная). Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы (главное условие).

При соблюдении данного условия, называемого главным, если пузырек цилиндрического уровня приведен в нуль-пункт, то визирный луч нивелира будет горизонтальным.

Нивелиры с уровнем поверяются на главное условие точным способом двойного нивелирования.

1. На расстоянии 50–80 м друг от друга в землю забить два колышка (точки *A* и *B*) и установить на них отвесно нивелирные рейки нулем вниз (рис. 8.6).

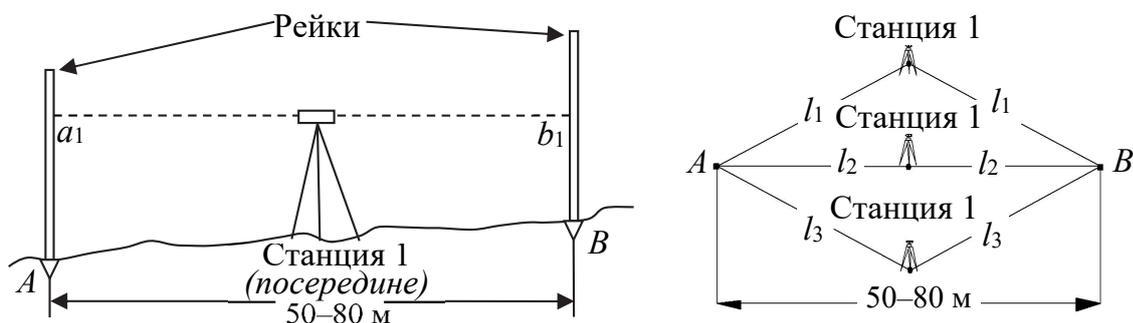


Рис. 8.6. Поверка № 3 нивелира (расположение станции 1)

2. Между точками *A* и *B*, на одинаковых расстояниях от них, установить на штативе нивелир (станция 1, рис. 8.6).

3. Привести нивелир в рабочее положение (выполнить поверку № 1 нивелира).

4. Одна из реек считается задней (*A*), а вторая – передней (*B*). Снять отсчеты a_1 и b_1 по черным сторонам реек, установленным в точках *A* и *B* (пример снятия отсчетов указан на рис. 8.3, в, г).

5. Отсчеты a_1 и b_1 по рейкам перепроверить всем остальным членам бригады и записать в тетрадь-дневник практики, затем вычислить верное превышение: $h_1 = a_1 - b_1$.

6. Перенести нивелир к задней точке *A* и установить его на расстоянии 4–6 м от этой точки (станция 2, рис. 8.7).

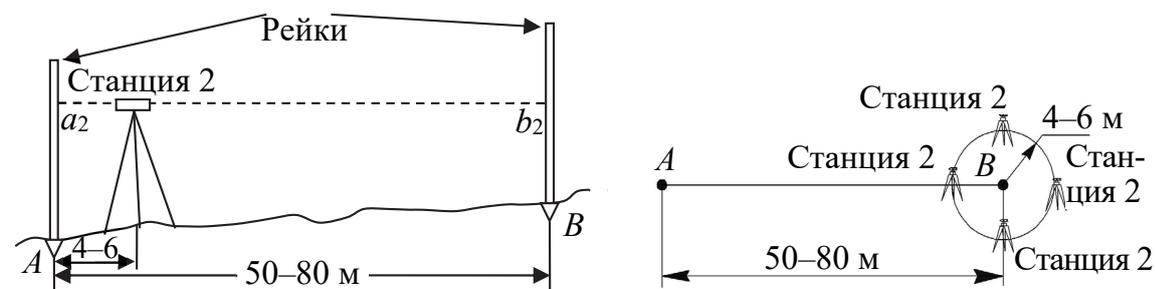


Рис. 8.7. Поверка № 3 нивелира (расположение станции 2)

7. Привести нивелир в рабочее положение (выполнить поверку № 1 нивелира).

8. Снять отсчеты a_2 и b_2 по черным сторонам реек, установленным в точках A и B .

9. Отсчеты a_2 и b_2 по рейкам перепроверить всем остальным членам бригады и записать в тетрадь дневник-практики, затем вычислить повторное превышение: $h_2 = a_2 - b_2$.

При соблюдении главного условия превышения h_1 и h_2 не должны отличаться более чем на ± 5 мм, что означает прохождение нивелира проверки. В противном случае необходимо выполнить юстировку прибора.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу, аналогичную табл. 8.3.

Таблица 8.3

Поверка главного условия нивелира Н-3

Установка нивелира	Отсчеты по рейкам в точках, мм		Превышения, мм		Вычисления (результат)
	a	b	h	h_{cp}	
Посередине (между рейками)	1720	1210	+510	+511	$h_1 = +511$ мм
	6422	5010	+512		$h_2 = +517$ мм
	4702	4700	–		$x = h_2 - h_1 = +6$ мм (ошибка)
Результат поверки					<i>Не пройдена</i>
Юстировка					
В 4–6 м от рейки	1533	1017	+516	+517	$b'_2 = a_2 - h_1 = 1533 - 6 = 1527$ мм
	6236	5718	+518		
	4703	4701	–		
Результат поверки после юстировки					<i>Пройдена</i>

После проведения всех поверок для тренировки измерений превышений закладывается *пробный (тренировочный) нивелирный ход*. Разбивается произвольный треугольник с расположением вершин его на расстоянии 60–80 м друг от друга, с закреплением их в земле кольшками и сторожками. Измеряется превышение методом из середины с вычислением пятки рейки, результаты заносятся в табл. 8.4.

8.3. Техника измерения превышений

Нивелированием называется процесс измерения превышений с целью определения высот точек. При нивелировании значения высот передают от исходных точек с известными высотами на точки,

высоты которых надо определить. Различают следующие виды нивелирования: *геометрическое, тригонометрическое и физическое* (барометрическое, гидростатическое и др.).

Геометрическое нивелирование – метод определения превышений путем взятия отсчетов по вертикальным рейкам при горизонтальном луче визирования (является одним из самых точных методов нивелирования).

Геометрическое нивелирование выполняют двумя способами – *из середины и вперед*.

Нивелирование из середины – основной способ геометрического нивелирования (рис. 8.8). На начальной (задней) и определяемой (передней) точках ставят отвесно рейки, пятка которых начинается с минимальных значений снизу и увеличивается вверх. Между рейками ставят нивелир, визирную ось которого приводят в горизонтальное положение (поверка нивелира № 1).

Таблица 8.4

Журнал измерения превышений

Номер		Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм		Абрис
станции	точки	задней З'/З''	передней П'/П''	промежу- точной	$h' = З' - П'$ $h'' = З'' - П''$	среднее h_{cp}	
1	1	1503					
		<u>6305</u>			+103		
		4802				+105	
	2		1400		+107		
			<u>6198</u>				
			4798				
2	2	1372					
		<u>6175</u>			-60		
		4803				-58,5	
	3		1432		-57		
			<u>6232</u>				
			4800				
3	3	1407					
		<u>6207</u>			-33		
		4800				-33	
	1		1440		-33		
			<u>6240</u>				
			4800				
-	-	f_h	+13,5 мм	-	Σh_{cp}	+13,5 мм	
-	-	$f_h \text{ доп}$	±17,3 мм	-	$\Sigma h_{теор}$	0 мм	

Наводят последовательно на заднюю A , а затем на переднюю B точки и берут отсчеты a и b .

Превышение вычисляют по формуле

$$h = a - b = 3 - \text{П.} \quad (8.1)$$

Если передняя точка расположена выше, то $h_{AB} > 0$, в противном случае $-h_{AB} < 0$.

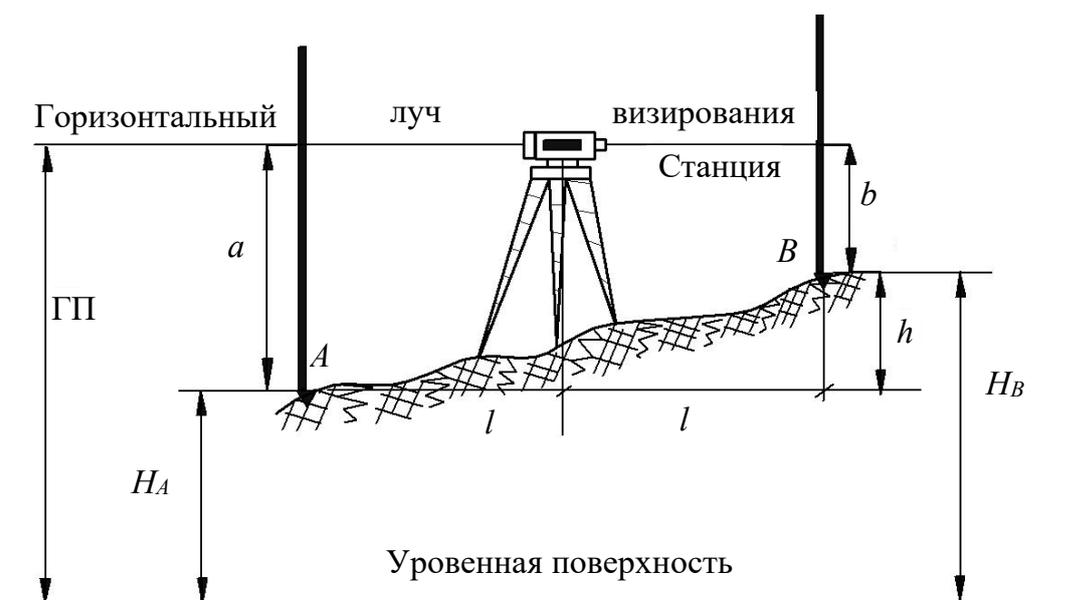


Рис. 8.8. Нивелирование из середины

Важно! Обычно для контроля превышение измеряют дважды – сначала по черным сторонам реек, затем по красным. Вычисляют два превышения, которые **не должны отличаться более чем на ± 5 мм**. Если это условие соблюдается, то за окончательный результат принимают среднее из двух превышений. В противном случае перепроверяют константу (пятку) реек (табл. 8.4) и отсчеты по ним.

При изыскании линейных сооружений производят нивелирование их трасс способом геометрического нивелирования из середины. Результаты измерения заносят в «Журнал технического нивелирования» (см. пункт 9.3, рис. 9.9).

Нивелирование вперед – нивелир устанавливают в точке A так, чтобы окуляр зрительной трубы располагался на отвесной линии в этой точке (рис. 8.9).

Измеряют *высоту прибора* (i) – расстояние по отвесной линии визирного луча (центра окуляра зрительной трубы) до геодезического знака (колышка) на поверхности (рис. 8.9). Для измерения

высоты нивелира на центр геодезического знака устанавливают отвесно нивелирную рейку, черная сторона которой должна быть обращена к окуляру зрительной трубы нивелира и располагаться от него не далее 1–2 см. С нее снимается отсчет (высоту прибора можно также измерить рулеткой).

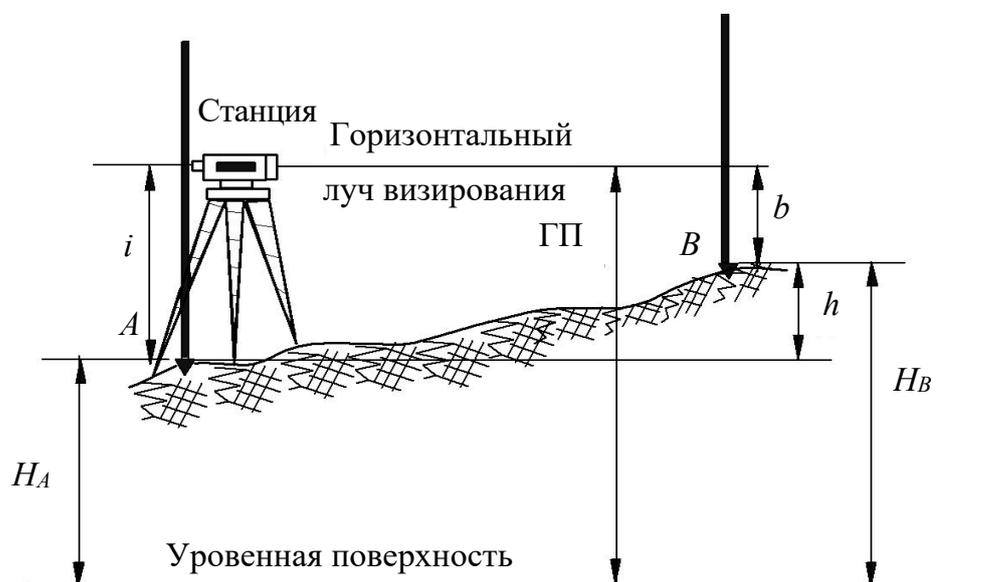


Рис. 8.9. Нивелирование вперед

Определяют отсчет по рейке, который и будет высотой нивелира. Рейку переносят в точку B , где отвесно устанавливают ее на центр геодезического знака (кольшка).

Превышение будет положительным, если $i > b$, и отрицательным при $i < b$.

Превышение находят по формуле

$$h = i - b = i - П. \quad (8.2)$$

Примечание. При невозможности передачи высоты от точки A к точке B с одной станции прокладывают нивелирный ход, т. е. выполняют последовательное нивелирование (рис. 8.10). При этом линию AB делят на отрезки, превышения h_i концов которых определяют методом геометрического нивелирования из середины.

В нивелирном ходе различают 3 группы точек.

1. *Связующие точки* – такие геодезические пункты, которые нивелируются по двум сторонам рейки (их отметки вычисляются через увязанные превышения) и участвуют в передаче высоты по ходу.

2. *Промежуточные (плюсовые) точки* – закрепленные пункты, которые нивелируются с одной станции по одной стороне рейки и

высоты которых определяют для отображения отдельных форм рельефа (не участвуют в передаче высоты).

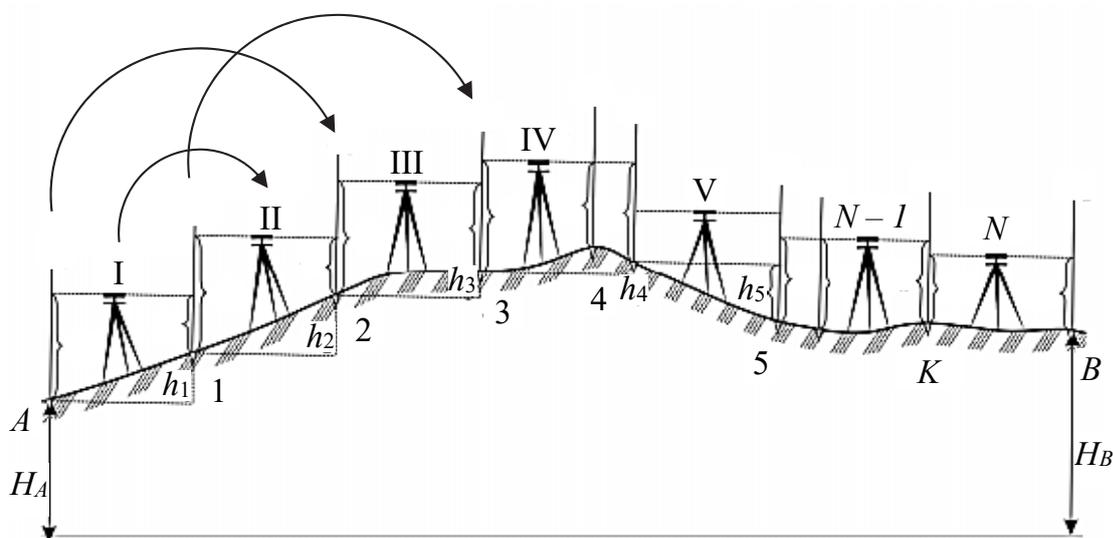


Рис. 8.10. Пример последовательного нивелирования

3. *Иксовые точки* – вспомогательные связующие точки, определяемые условиями видимости или значительным перепадом высот. Точки, где устанавливается нивелир, называются *станциями*.

Промежуточные (плюсовые) точки – точки, находящиеся либо в стороне от линии нивелирного хода, либо между связующими точками, которые подчеркивают особенности рельефа местности (например, ПК 4 + 13,7, рис. 8.11). Их отметки (H) вычисляются через горизонт прибора (инструмента) ГП только после вычисления высотных отметок основных связующих точек (рис. 8.11, а, ПК 4 и ПК 5).

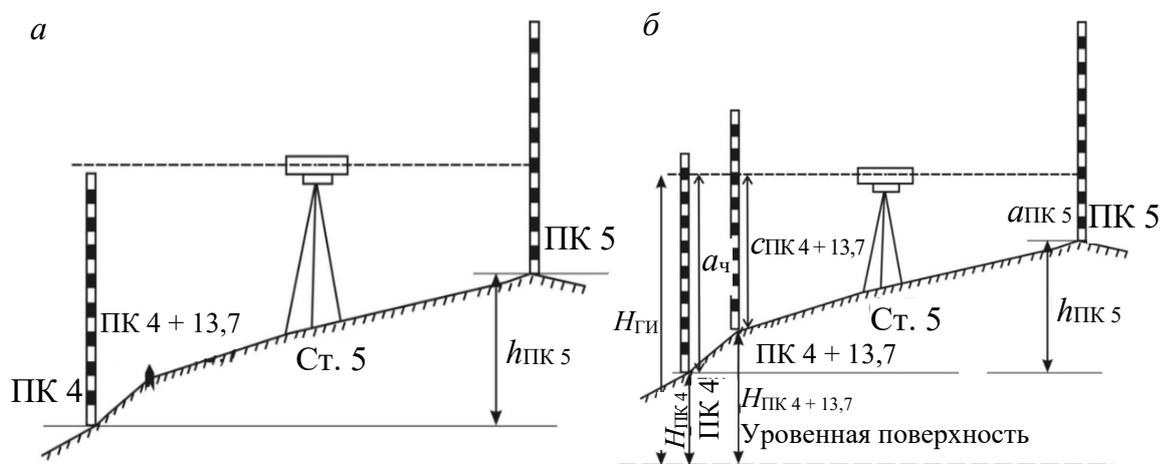


Рис. 8.11. Нивелирование промежуточных точек

Горизонтом прибора (ГП) называется расстояние от урвеной поверхности до визирной оси нивелира, т. е. горизонт прибора равен абсолютной отметке точки плюс отсчет по черной стороне рейки, установленной на этой точке. Для контроля ГП нужно высчитать два значения: горизонт прибора при визировании на переднюю рейку и при визировании на заднюю. Разница между двумя значениями ГП не должна превышать 5 мм.

Рассчитав средний горизонт прибора, можно определить абсолютную отметку промежуточной точки как разность $ГП_{ср}$ и отсчета по черной стороне рейки (выражен в метрах) на данную точку:

$$ГП_1 = H_{задняя} + З_ч; \quad (8.3)$$

$$ГП_2 = H_{передняя} + П_ч. \quad (8.4)$$

Контроль: $ГП_1 - ГП_2 \leq \pm 0,005$ м.

$$ГП_{ср} = \frac{ГП_1 + ГП_2}{2}. \quad (8.5)$$

Отметка промежуточной точки определяется по формуле

$$H_{пром} = ГП_{ср} - a_{пром. черн.} \quad (8.6)$$

Пример: необходимо определить абсолютную отметку ПК 4 + 13,7, расположенную между точками ПК 4 и ПК 5 (рис. 8.11, а). Вычислим для этого высотные отметки $H_{ПК 4}$ и $H_{ПК 5}$ и рассчитаем горизонт прибора: $ГП_1 ст. 5 = H_{ПК 4} + a_{ч ПК 4}$; $ГП_2 ст. 5 = H_{ПК 5} + a_{ч ПК 5}$. Затем определим среднее значение: $ГП_{ср ст. 5} = (ГП_1 ст. 5 + ГП_2 ст. 5) / 2$.

Устанавливаем рейку на промежуточную точку (ПК 4 + 13,7, рис. 8.11, б) и снимаем отсчет по черной стороне, получаем $c_{ч ПК 4 + 13,7}$. Абсолютная отметка ПК 4 + 13,7 равна $H_{ПК 4 + 13,7} = ГП_{ср ст. 5} - c_{ч ПК 4 + 13,7}$.

Все измерения проводятся в журнале технического нивелирования. Вычисление отметок через ГП очень удобно, когда с одной станции были сделаны отсчеты на несколько промежуточных точек.

Тригонометрическое нивелирование – метод определения превышений путем предварительно измеренного угла наклона и длины наклонной линии визирования (или ее проекции на горизонтальную плоскость) с использованием теодолита (тахеометра) и нивелирной рейки (рис. 8.12).

Для этого в точке *A* устанавливают теодолит (приводят его в рабочее положение), в точке *B* – нивелирную рейку. Рулеткой (рейкой) измеряют высоту теодолита (*i*) и отмечают ее на рейке, расположенной в точке *B*.

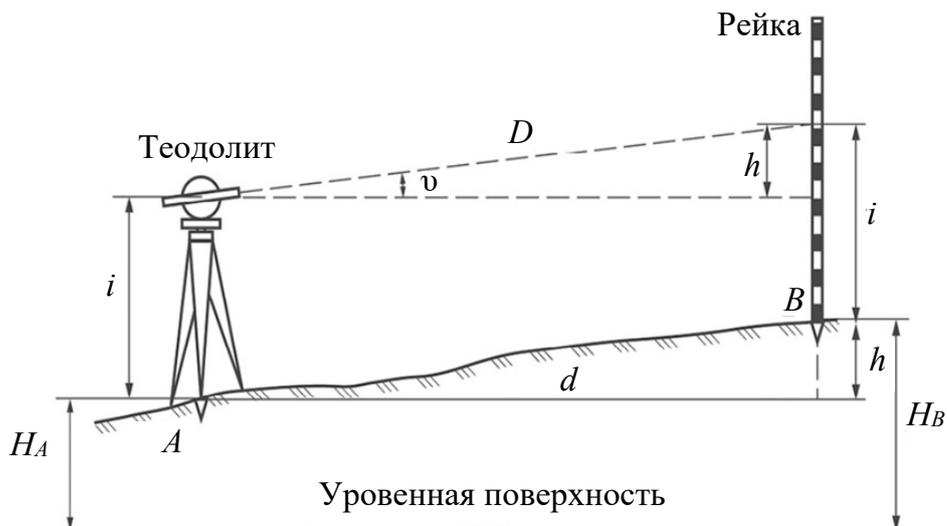


Рис. 8.12. Тригонометрическое нивелирование

С использованием наводящих винтов при круге слева (КЛ) наводят сетку нитей теодолита на отметку высоты теодолита (i) на рейке (в точке B). С помощью вертикального круга теодолита определяют угол наклона (v) визирной оси трубы.

Примечание. Можно наводить на любую иную точку на рейке (расстояние от этой точки до пятки рейки называется *высотой визирования*), но при этом формула для расчета превышения изменится (см. пункт 13.1).

Длину линии AB измеряют лентой (d) или дальномером (D). Превышение находят по формулам:

– если известно горизонтальное проложение (d):

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v; \quad (8.7)$$

– если расстояние измерено дальномером (D), то сначала можно рассчитать горизонтальное проложение (d):

$$d = D \cdot \cos^2 v, \quad (8.8)$$

или, подставив в формулу (8.7) формулу (8.8), получить

$$h = D \cdot \cos^2 v \cdot \operatorname{tg} v = 1/2 \cdot D \cdot \sin(2v). \quad (8.9)$$

Преимуществом такого нивелирования является возможность определения высот труднодоступных и в значительной мере удаленных друг от друга точек (если между ними существует оптическая видимость) без ограничения угла наклона линии визирования к горизонту и дальности расстояния. Точность такого нивелирования в сравнении с геометрическим ниже.

8.4. Подготовительные работы при нивелировании трассы и закрепление оси на местности

Каждой бригаде задают участок трассы для проектирования лесовозной дороги протяженностью 200–400 м на каждого члена бригады с 1–3 углами поворота, указывают реперы для высотной и плановой привязки трассы на плане и задают радиусы кривых. Необходимо выполнить следующие работы: осуществить рекогносцировку, сделать разбивку пикетажа и закруглений на углах поворота трассы, заполнить пикетажный журнал, указав ситуацию вдоль дороги, сделать плановую и высотную привязку трассы, заложить 1–2 поперечника, осуществить нивелирование, составить продольный и поперечный профили трассы, рассчитать основные элементы проектной линии, составить ведомость вычисления начала, конца трассы, вершин углов поворота.

Перед началом работ необходимо заготовить деревянные колышки и сторожки (по 30 шт.) для разбивки трассы в натуре, подготовить и научиться заполнять журнал технического нивелирования, получить задание от руководителя практики.

Отправляясь на рекогносцировку и закрепление оси трассы, бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: теодолит и нивелир со штативом, рейки нивелирные – 2 шт., мерную ленту с комплектом шпилек (рулетку), колышки и сторожки, топор, журнал технического нивелирования, журнал измерения горизонтальных углов и расстояний, маркер, тетрадь-дневник практики с ручкой и калькулятор.

Рекогносцировка заключается в ознакомлении с участком работ, технологией производства работ, направлением трассы и опорными реперами для привязки. В ее процессе выбирают положение прямых (иногда условно прямых) участков трассы, закрепляют колышками вершины углов поворота и составляют схематический чертеж, на котором отображают трассу, углы поворота, реперы и ситуацию на местности.

Направление трассы выбирается таким образом, чтобы при ее прокладке не мешали естественные препятствия (заросли кустарников, глубокие овраги). Для минимизации воздействия на растительность трассу прокладывают вдоль существующих полевых или лесных дорог. Пикетные колышки забивают за пределами проезжей части.

Примечание. По правилам безопасности труда запрещено назначать учебную трассу вдоль шоссеной дороги Энергетик – Узда в пределах полосы отчуждения.

Разбивка и закрепление оси трассы на местности осуществляется кольшками и сторожками, которыми закрепляются характерные точки трассы: *пикеты* (фр. *piquet* – кольшек) – точки на оси трассы, предназначенные для закрепления заданного интервала (через 100 м), и плюсовые (промежуточные) точки – характерные точки на оси трассы в местах перегиба скатов, в точках пересечения трассы с естественными препятствиями (овраги, ручьи и т. п.), инженерными сооружениями (дорогами, тропинками, просеками), границами угодий и т. д. На сторожках указывают расстояние от предшествующего (заднего) пикета (например, ПК 0 + 67,8) (рис. 8.13).

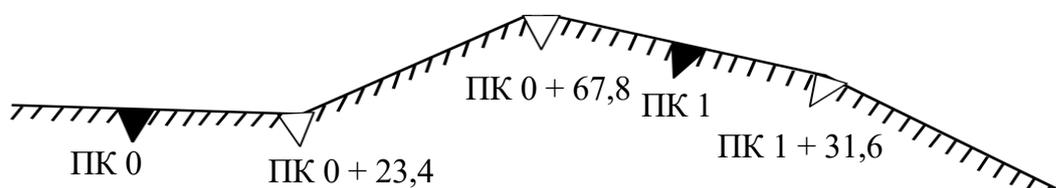


Рис. 8.13. Пикетные и плюсовые точки (пример)

Пикетаж – это система обозначения и закрепления точек трассы, а также отсчета расстояний вдоль оси трассы линейного сооружения. Пикеты закрепляются вровень с землей кольшками длиной около 10 см. Рядом с пикетом забивается *сторожок*, выступающий над поверхностью земли на 10–20 см (рис. 8.14). На лицевой стороне сторожка, обращенной к пикету, *маркером* пишется ее номер, через дробь показывают номер бригады, например ПК 0/11.

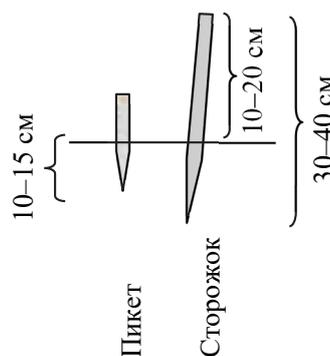
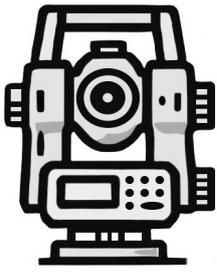


Рис. 8.14. Закрепление точек трассы

Начало трассы обозначают ПК 0 (нулевой пикет) и продолжают далее по ходу трассы откладывать от него расстояния рулеткой (ПК 1, ПК 2 и т. д.), в результате номер каждого пикета обозначает число сотен метров трассы от ее начала.



ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ТРАССЕ ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

9.1. Разбивка главных элементов круговых дорожных кривых и поперечников

Для плавного закругления трассы при поворотах в ее углы вписывают *кривые* – дуги окружностей. Точки касания ломаных с кривыми обозначают как *начало кривой* (НК) и *конец кривой* (КК), точку пересечения биссектрисы угла с кривой – *середина кривой* (СК). Указанные три точки называют главными точками кривой (рис. 9.1).

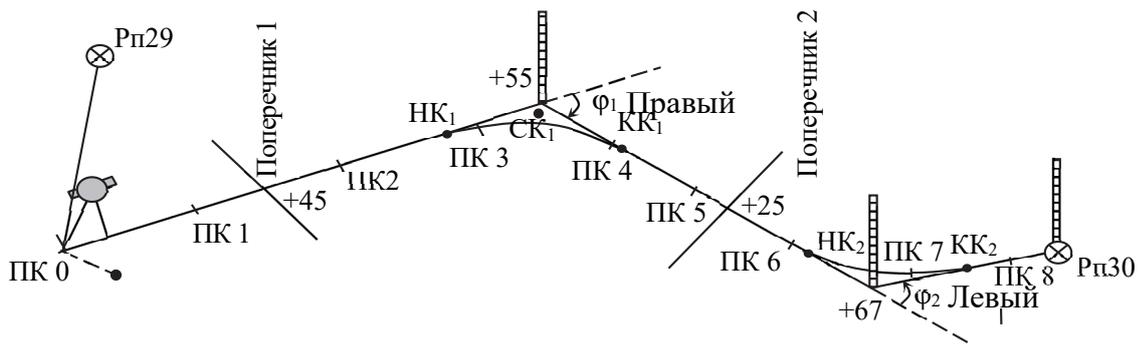


Рис. 9.1. Разбивка трассы, пикетажа, углов поворота, поперечников (пример)

Для определения пикетажных наименований главных точек кривой сначала вычисляют *углы поворота трассы* (правые, левые), измерив правые по ходу горизонтальные углы теодолитом или буссолью (при ее наличии измеряется магнитный азимут первого прямого участка трассы). *Углами поворота трассы* (θ) называют горизонтальные углы, которые образуют новое направление трассы.

Примечание. При данных работах бригада после разбивки 4 пикетов может разделиться на 2 части: первая производит дальнейшую разбивку трассы до следующего угла поворота, поперечников и ведет пикетажный журнал, а вторая часть переходит к измерению горизонтального угла поворота и нивелированию. После окончания разбивки первая часть присоединяется ко второй.

В местах трассы, где поперечный уклон местности более 0,2 (т. е. на 5-метровом отрезке превышение его концов более 1 м), разбивают поперечники (линии, перпендикулярные оси трассы). Как правило, длина поперечника (рис. 9.2) должна быть не менее 20 м в обе стороны от оси трассы. При разбивке поперечника закрепляют его концы сторожками, фиксируют точку пересечения с осью трассы (как правило, это плюсовая точка или пикет). Обозначают точки поперечника, указывая расстояния от его середины с присоединением букв «Л» и «П» по их расположению влево и вправо от трассы соответственно, например: Л 15, Л 25, П 15, П 25 и т. д.

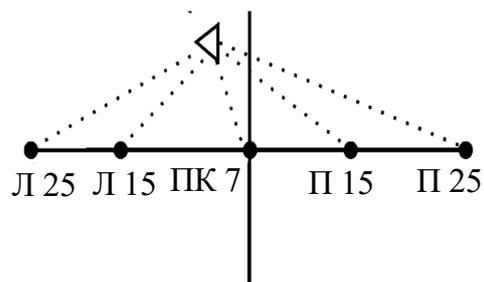


Рис. 9.2. Разбивка и нивелирование поперечника

Для того чтобы учесть закругления (углы поворота) трассы, необходимо измерить углы поворота и рассчитать остальные элементы круговой кривой для каждого угла поворота.

Измерение углов поворота трассы осуществляют одним полным приемом, как и при теодолитной съемке. Для этого теодолит устанавливают на вершине угла ВУ1 (рис. 9.3) поворота трассы и приводят в рабочее положение.

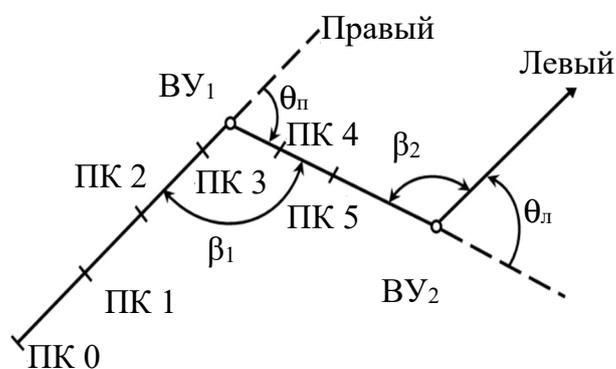


Рис. 9.3. Углы поворота трассы (пример)

На первых пикетах до и после угла поворота устанавливают вешки. Снимают отсчеты, записывают результаты измерений в журнал измерения горизонтальных углов и расстояний (рис. 2.4 на с. 37), вычисляют угол β . Угол поворота θ трассы (правый или левый) вычисляют по формулам:

$$\theta_n = 180^\circ - \beta_i, \text{ если } \beta_i \text{ меньше } 180^\circ; \quad (9.1)$$

$$\theta_l = \beta_i - 180^\circ, \text{ если } \beta_i \text{ больше } 180^\circ. \quad (9.2)$$

Определив угол поворота трассы θ и выбрав радиус кривой R (выдается преподавателем, $R = 100\text{--}200$ м), по формулам определяют остальные элементы круговой кривой: тангенс (Т), кривую (К), домер (Д), биссектрису (Б) (рис. 9.4):

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; \quad (9.3)$$

$$K = \frac{\pi \cdot \theta \cdot R}{180^\circ}; \quad (9.4)$$

$$D = 2T - K; \quad (9.5)$$

$$B = R \cdot \left(\frac{1}{\cos \frac{\theta}{2}} - 1 \right). \quad (9.6)$$

Важно! Необходимость учета величины домера определяется тем, что на участке закругления трасса проходит по кривой, счет пикетажа



Рис. 9.4. Разбивка главных точек круговой кривой (пример)

тоже по кривой, а измерения при разбивке трассы производятся по тангенсам, поэтому при разбивке пикетажа нужно учитывать закругления.

Учет домера состоит в том, что после измерения угла поворота и расчетов элементов кривой мерную ленту перемещают вперед на величину домера (рис. 9.4), т. е., например, дойдя до вершины угла первого поворота ($ВУ_1$), откладывают по направлению на вершину угла второго поворота ($ВУ_2$) домер ($Д_1$) и от полученной точки продолжают

измерения. Тем самым счет пути приводят в соответствие с укоротившейся длиной трассы (рис. 9.5) вследствие вставки кривой.

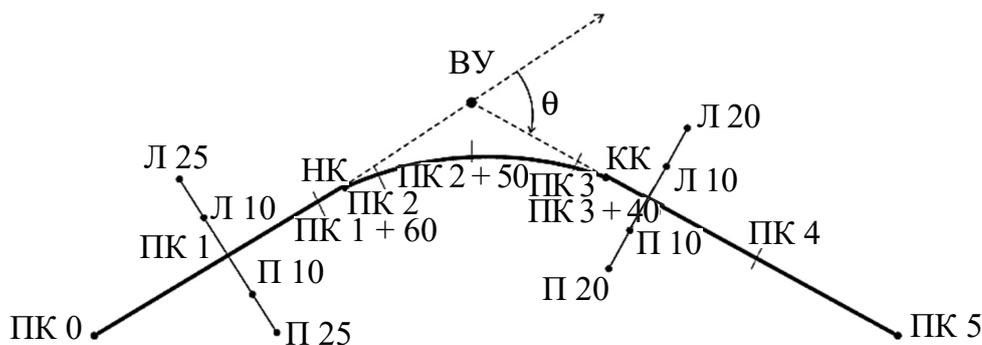


Рис. 9.5. Разбивка пикетов на круговой кривой (пример)

Рассчитав основные элементы круговой кривой (например, на рис. 9.6 ВУ находится на ПК 4 + 22,10 ($\theta_{\text{п}} = 62^{\circ}8'$, $R = 100$ м)), определяют пикетажное положение главных точек кривой НК и КК с контролем:

- начало кривой: $\text{НК} = \text{ВУ} - T$;
- середина кривой: $\text{СК} = \text{НК} + K/2$;
- конец кривой: $\text{КК} = \text{НК} + K$;
- контроль правильности вычислений: $\text{КК} = \text{ВУ} + T - Д$.

Например:

Расчет		Контроль	
ВУ	ПК 4 + 22,10	ВУ	ПК 4 + 22,10
-Т	0 60,24	+Т	0 60,24
НК	ПК 3 + 61,86	Σ	ПК 4 + 82,34
+К	1 08,44	-Д	12,04
КК	ПК 4 + 70,30	КК	ПК 4 + 70,30

Все главные точки на трассе закрепляются кольшками.

9.2. Пикетажный журнал

Все результаты расчетов заносятся в *пикетажный журнал* (пикетажную книжку) (рис. 9.6), который ведут одновременно с разбивкой пикетажа и поперечников. Журнал представляет собой лист бумаги в клеточку (располагается в конце журнала технического нивелирования) или миллиметровки.

Посередине каждой страницы журнала проводят прямую, изображающую ось трассы. По оси снизу вверх в условном масштабе (например, 1 клетка – 20 или 25 м) наносят пикеты. Если лист заканчивается вверху, то, отступив от нарисованной оси, рисуют параллельно вторую ось трассы и снизу вверх продолжают нумерацию пикетов. На линию трассы наносят пикетные и плюсовые точки. Углы поворота показывают стрелкой, направленной вправо или влево в соответствии с изменением направления трассы без изменения направления оси из пикетов. Рядом с углами поворота показывают элементы кривой и расчет пикетажных значений главных точек НК и КК. Одновременно с разбивкой пикетажа выполняют съемку ситуации до 30–50 м вправо и влево от оси трассы.

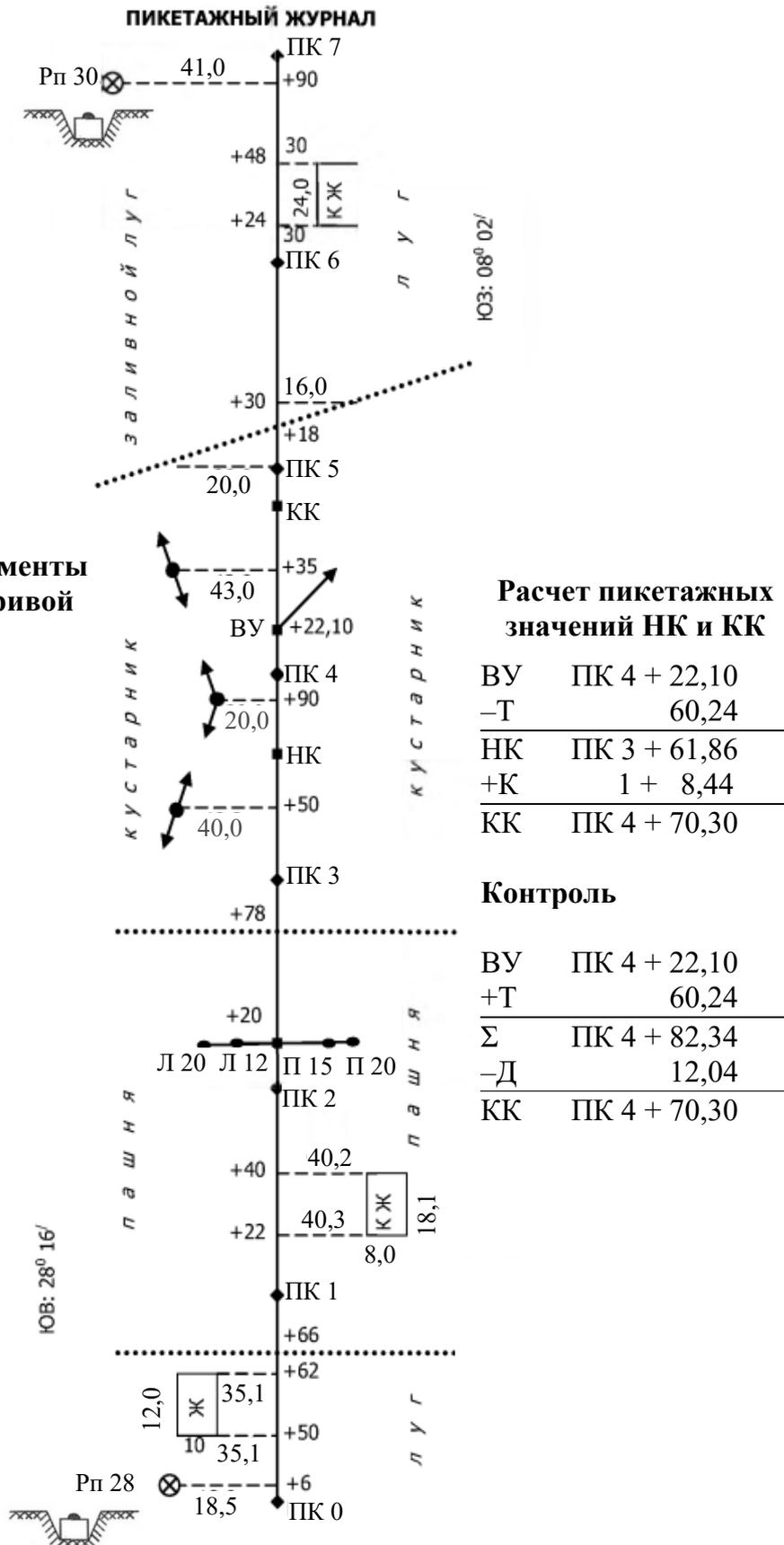


Рис. 9.6. Пикетажный журнал (пример)

9.3. Нивелирование трассы

После выполнения разбивки трассы, т. е. закрепления на местности углов поворота трассы, разбивки пикетов, плюсовых точек, поперечных профилей, главных точек кривой и выноса пикетов на кривые (см. рис. 9.5), по ним прокладывают ход технического нивелирования и производят *нивелирование трассы*, в процессе которого определяют высоты перечисленных точек (рис. 9.7).

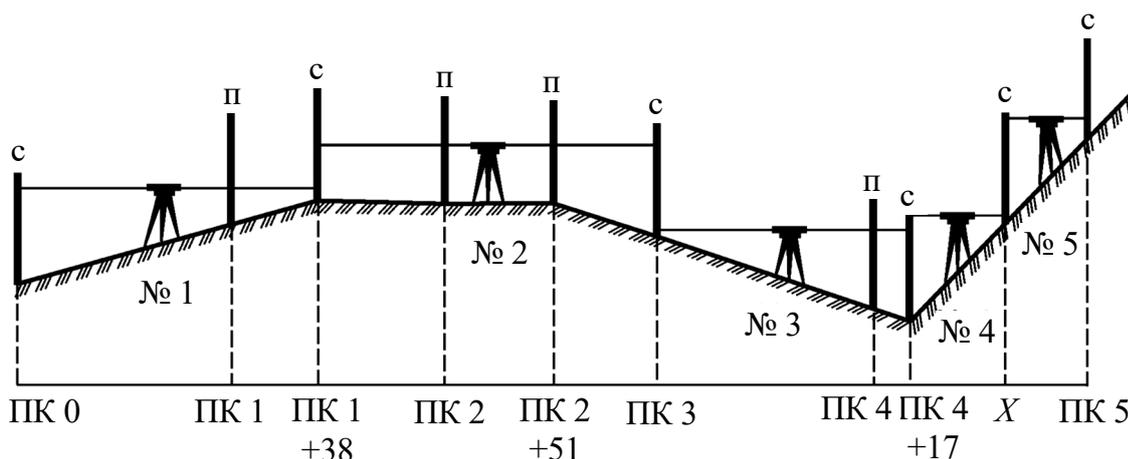


Рис. 9.7. Нивелирование трассы:
с – связующие точки; п – промежуточные точки

Геометрическое нивелирование пунктов трассы осуществляют техническим нивелиром способом *из середины*. Точка местности, над которой устанавливают нивелир, называется *станцией*. Длина визирного луча (плеча) от станции до рейки при таком измерении превышений может достигать 120 м. Во избежание возможных ошибок при нивелировании следует стараться устанавливать нивелир на равных расстояниях от связующих точек.

При этом составляется схема технического нивелирования пикетов трассы (рис. 9.8) с указанием расположения станций, и стрелками показывается направление осей визирования от нее связующих и промежуточных точек (при их наличии).

На геодезической практике ход начинают и заканчивают (*привязывают*) на пунктах с известной абсолютной отметкой (реперах) – для этого снимают отсчеты по рейке, установленной на реперную точку.

Работы начинают с привязки ПК 0 к начальному реперу и заканчивают привязкой последнего пикета к конечному реперу. Их месторасположение и высотные отметки указывает руководитель практики.

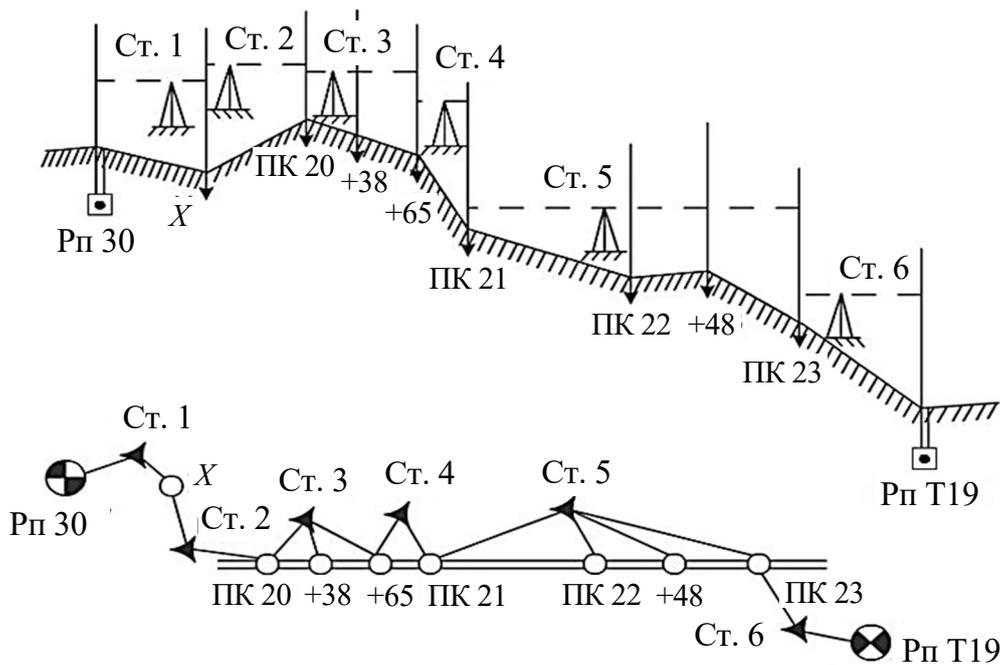


Рис. 9.8. Пример схемы технического нивелирования пикетов трассы (фрагмент)

Важно! При привязке к реперам рейку устанавливают строго над центрами реперов, а при нивелировании пикетов, поперечников, плюсовых точек – *обязательно на колышки*, закрепляющие эти точки.

Пикеты (*связующие точки*) нивелируются (рис. 9.7) с отсчетами по обеим сторонам рейки (*черная и красная*), а *плюсовые точки* и точки поперечников – как промежуточные с отсчетом только *по одной черной* стороне рейки.

Важно! Для уменьшения ошибок задний реечник, дойдя до переднего реечника (который в это время стоит на передней точке, не снимая рейки), не останавливается и идет на следующую точку и становится на новой точке перед передним. В это время нивелировщик подсчитывает превышения и идет на следующую станцию (при этом если есть промежуточные точки, то на них становится задний реечник).

Последовательность работы на станции следующая:

- нивелир устанавливают посередине между связующими точками;
- перед взятием каждого отсчета пузырек круглого уровня приводят на середину (нуль-пункт) тремя подъемными винтами подставки;
- устанавливают рейку на заднюю точку, берут отсчет по черной стороне и заносят результат (например, 2275) в журнал технического нивелирования (рис. 9.9);

Для постраничного контроля правильности вычислений в последнюю строку страницы записывают суммы всех отсчетов по задним рейкам (ΣZ), отсчетов по передним рейкам ($\Sigma П$) и превышений (Σh_{cp}). Разность суммы задних и суммы передних отсчетов должна равняться сумме превышений. Половина суммы превышений должна равняться сумме средних превышений:

$$\frac{\Sigma Z - \Sigma П}{2} = h_{cp}. \quad (9.7)$$

Если равенство не соблюдается, то все величины (ΣZ , $\Sigma П$ и Σh_{cp}) необходимо проверить.

Журнал технического нивелирования является документом строгого учета. Страницы в журнале должны быть пронумерованы. Результаты измерений записывают в журнал простым карандашом или шариковой ручкой. Ошибочные записи аккуратно зачеркивают, а все измерения повторяют вновь. На первой и последней страницах указывают названия начального и конечного реперов.

Примечание. В том случае, если превышение между вершинами нивелирного хода невозможно определить с одной станции, т. е. при нивелировании на крутом и однородном скате визирный луч «бьет» в землю (рис. 9.10, а) или идет выше рек, делается одна или несколько станций (рис. 9.10, б) с дополнительными связующими точками (*иксовыми* (X)), которые на профиле не отображаются, поэтому расстояния до них не надо измерять.

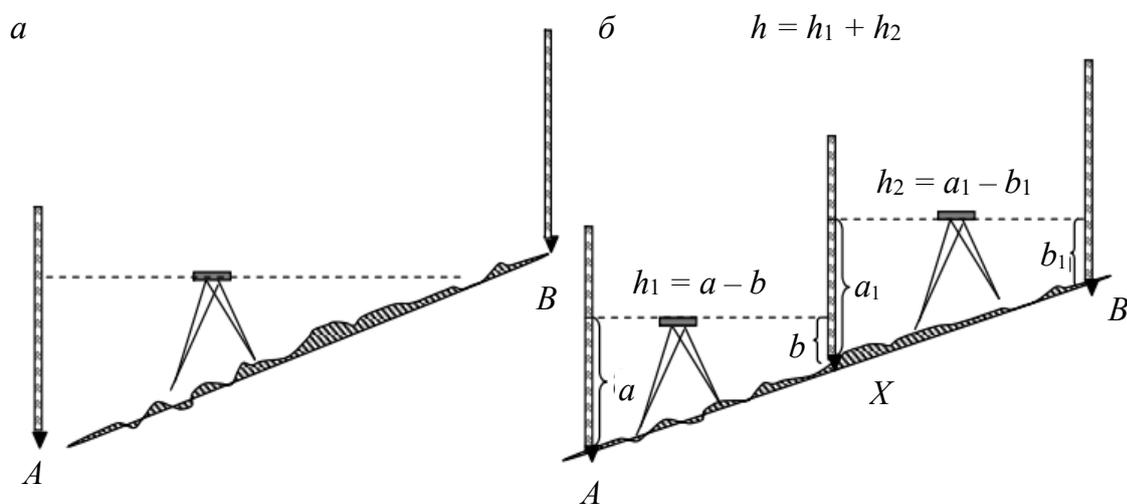


Рис. 9.10. Дополнительные связующие (иксовые) точки

9.4. Нивелирование поперечников

При съемке поперечника нивелир устанавливается вблизи связующего пикета (см. рис. 9.2) так, чтобы с него были видны все точки поперечника, расположенные перпендикулярно к основной оси трассы. Для определения горизонта инструмента (прибора) берется отсчет по черной стороне рейки, установленной в пикете основного хода (высота этой точки будет определена в процессе продольного нивелирования трассы). В остальных точках поперечника отсчеты берутся также по черной стороне рейки и заносятся в журнал нивелирования. Обработку полученных данных в полевых условиях не проводят.

Важно! Нельзя убирать нивелир с места на станции, пока не будет снят отсчет по черной стороне рейки на связующую точку (пикет) для привязки к основному нивелирному ходу.



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НИВЕЛИРОВАНИЯ И СОСТАВЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТРАССЫ

10.1. Вычислительная обработка результатов нивелирования

После проведения всех измерений и выполнения постраничного контроля суммируют все средние превышения. Далее происходит *камеральная вычислительная обработка* результатов нивелирования, пример которой приведен в табл. 10.1, в следующей последовательности.

1. Из каталога координат пунктов геодезического полигона Негорельского учебно-опытного лесхоза в графу журнала «Отметки H » записывают *высоты пунктов полигонометрии* Рп 28 и Рп Т19 (выдаются преподавателем).

2. Для проложенного хода определяют сумму теоретических превышений и указывают внизу страницы журнала:

$$\Sigma h_{\text{теор}} = H_{\text{к}} - H_{\text{н}}, \quad (10.1)$$

где $H_{\text{к}}$, $H_{\text{н}}$ – отметки соответственно конечного и начального реперов, мм.

3. Рассчитывают *фактическую невязку* превышений и ее *допустимую невязку* в миллиметрах, которые вычисляют по формулам:

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - \Sigma h_{\text{теор}}; \quad (10.2)$$

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{n} \quad (10.3)$$

или

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{L}, \quad (10.4)$$

где n – число станций в ходе; L – длина хода, км.

Для продолжения вычислений в журнале необходимо, чтобы между вычисленными невязками *соблюдалось неравенство*:

$$f_h \leq f_{h_{\text{доп}}}. \quad (10.5)$$

Выполнение данного неравенства свидетельствует о том, что измерение превышений в ходе осуществлено с требуемой точностью и *не превышает* допустимого значения.

Примечание. Если невязка в измеренных превышениях в нивелирном ходе *превышает* допустимую, то требуется перепроверить вычисления и при необходимости повторить нивелирование трассы, проанализировав причины ошибочных измерений.

4. Уравнивают средние превышения. Суть данного этапа заключается в том, что величины средних превышений исправляют поправками, которые устраняют фактическую невязку. Ее равномерно распределяют *с обратным невязке знаком* в измеренных превышениях – вводят *поправки*, предварительная *средняя величина* которых равна

$$v_{h,i} = \frac{-f_h}{n}. \quad (10.6)$$

Затем *отдельные поправки* $v_{h,i}$ записывают над значениями $h_{\text{ср}}$ в журнале нивелирования.

Важно! Поправки округляют до целых значений и распределяют поровну с противоположным невязке знаком во все превышения, но если среднее превышение содержит 0,5 мм, то и в поправку для него включают 0,5 мм. Если, например, невязка получилась равной 35 мм (табл. 10.1) и количество станций 14, то поправки будут по $-35 \text{ мм} / 14 = -2,5 \text{ мм}$, т. е. от 2 до 3 мм. Значит, там, где среднее превышение имеет дробную часть (0,5 мм), поправка будет $-2,5 \text{ мм}$, а в оставшиеся средние превышения вводятся поправки по -3 мм или -2 мм на каждую станцию.

Таким образом, уравненные превышения не должны содержать десятые миллиметра, а по величине поправки $v_{h,i}$ могут различаться на 1 (2) мм. Если невязка невелика (меньше числа станций), то некоторые превышения оставляют без поправок (чаще в начале и в конце хода). В конечном итоге сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком, т. е.

$$\sum v_{h,i} = -f_h. \quad (10.7)$$

Таблица 10.1

Пример журнала технического нивелирования

Номер станции	Реперы, пикеты и промежуточные точки	Отсчеты по рейке, мм			Превышения h', h'' , мм	Среднее превышение $h_{ср}$, мм	Горизонт прибора ГП, м	Абсолютные отметки H , м	Примечания
		задней з	передней П	промежуточной					
1	Рп 28	1890				-2,5	181,858	179,968	<i>Грун- товый репер 28</i>
		6693			651	652,5	181,858		
	ПК1		1239		654	650	181,857	180,618	
			6039						
	ПК0			1960				179,898	
2	ПК1	1506				-2	182,124	180,618	<i>Угол поворо- та (ВУП ПК1 + + 20)</i>
		6310			16	18	182,124		
	ПК2		1490		20	16	182,124	180,634	
			6290						
	ПК1+20			1357				180,767	
3	ПК2	0572				-3		180,634	
		5376			-1206	-1204			
	ПК3		1778		-1202	-1207		179,427	
			6578						
4	ПК3	663				-2,5		179,427	
		5462			-1382	-1382,5			
	ПК4		2045		-1383	-1385		178,042	
			6845						
5	ПК4	0111				-2,5		178,042	
		4912			-1918	-1916,5			
	ПК5		2029		-1915	-1919		176,123	
			6827						
6	ПК5	1020				-3		176,123	
		5820			-455	-455			
	ПК6		1475		-455	-458		175,665	
			6275						
7	ПК6	2143				-2,5		175,665	
		6941			1701	1699,5			
	ПК7		0442		1698	1697		177,362	
			5243						
8	ПК7	2312				-2,5	179,674	177,362	<i>Попе- реч- ник на ПК7</i>
		7115			2182	2183,5	179,674		
	ПК7+60		0130		2185	2181	179,673	179,543	
			4930						
	П15			0429				179,245	
	П25			0402				179,272	
	Л15			0854				178,820	
Л25			0974				178,700		

Номер станции	Реперы, пикеты и промежуточные точки	Отсчеты по рейке, мм			Превышения h', h'' , мм	Среднее превышение h_{cp} , мм	Горизонт прибора ГП, м	Абсолютные отметки H , м	Примечания
		задней З	передней П	промежуточной					
9	ПК7+60	2789				-3	182,332	179,543	Угол поворота (ВУ2 ПК9)
		7587			1443	1442	182,330		
	ПК9		1346		1441	1439	182,328	180,982	
			6146						
10	ПК8			1958				180,372	
	ПК9	1199				-2,5		180,982	
		5999			-20	-20,5			
	ПК10		1219		-21	-23		180,959	
11			6020						
	ПК10	1771				-2,5		180,959	
		6568			681	679,5			
	ПК11		1090		678	677		181,636	
12			5890						
	ПК11	1748				-2		181,636	
		6548			733	733			
	ПК12		1015		733	731		182,367	
13			5815						
	ПК12	1757				-2,5		182,367	
		6557			439	438,5			
	ПК13		1318		438	436		182,803	
14			6119						Грунтовый репер Т19
	ПК13	1918				-2	184,721	182,803	
		6720			819	820	184,721		
	Рп Т19		1099		821	818	184,720	183,621	
			5899						
	ПК13+75			1362				183,359	
	ПК14			1433				183,288	

$$\Sigma Z = \underline{110\ 007}$$

$$\Sigma П = \underline{102\ 631}$$

$$\frac{\Sigma Z - \Sigma П}{2} = \underline{3688}$$

$$\Sigma h_{cp} = \underline{3688\ \text{мм}}$$

$$\Sigma h_{теор} = H_k - H_n = H_{Рп\ Т19} - H_{Рп\ 28} = 3653\ \text{мм}$$

$$f_h = \Sigma h_{cp} - \Sigma h_{теор} = 35\ \text{мм}$$

$$f_{h\ доп} = \pm 50\ \text{мм} \cdot \sqrt{L} = \pm 50\ \text{мм} \cdot \sqrt{1,4\ \text{км}} = \pm 59\ \text{мм}$$

Уравненные превышения рассчитывают по формуле

$$h_i = h_{cp,i} + v_{h,i}. \quad (10.8)$$

5. Вычисляют *отметки* (H) связующих точек (отметка следующей по ходу H_{i+1} точки равна отметке предыдущей H_i точки плюс уравненное превышение h_i между ними):

$$H_{i+1} = H_i + h_i. \quad (10.9)$$

Важно! Превышения измеряются при нивелировании *в миллиметрах*, а абсолютные отметки – *в метрах*, поэтому при сложении нужно переводить миллиметры в метры (делить на 1000).

Контролем правильности вычисления отметок является полученная в конце хода известная отметка конечной точки (табл. 10.1). При невыполнении контроля возможны ошибки при вычислении отметок связующих точек в величине и знаке поправок $v_{h, i}$, в вычислении уравненных превышений h_i .

Отметки промежуточных точек (при их наличии) вычисляют через горизонт прибора. Он равен отметке задней (или передней) точки плюс отсчет по черной стороне рейки, стоящей на этой точке. Горизонт прибора для контроля вычисляют два раза (при этом разница в их полученных значениях должна быть не больше $\pm 5 \text{ мм} = \pm 0,005 \text{ м}$) и за окончательное значение берется среднее (см. формулы (8.3)–(8.5) на с. 102).

10.2. Построение профиля трассы

Нивелирование трассы завершают графическим оформлением наблюдений, составлением профиля трассы по данным журнала нивелирования и пикетажного журнала.

Профиль строят на миллиметровой бумаге формата А3–А2, на которой все размеры откладывают без измерителя. Для придания продольному профилю лучшей наглядности линию профиля утрируют, т. е. наносят высоты в более крупном масштабе (обычно в 10 раз больше), чем горизонтальные проложения (например, 1 : 5000 и 1 : 500, 1 : 2000 и 1 : 200 и т. д.). *Профили поперечников* составляют в крупном масштабе (одинаковом горизонтальном и вертикальном), например 1 : 100, над теми пикетами, от которых они построены на местности.

Верхняя линия сетки профиля совпадает с линией условного горизонта, от которого *на расстоянии 5 мм влево* от нулевого пикета поднимают вверх перпендикуляр и на нем через 1 см строят шкалу высот в принятом вертикальном масштабе. Условный горизонт выбирают кратным 5 или 10 м с таким расчетом, чтобы самая низкая точка профиля (см. в журнале технического нивелирования) отстояла от него на 4–6 см в переводе по вертикальному масштабу на профиль. При этом желательно, чтобы линия условного горизонта совпадала с утолщенной линией миллиметровой бумаги и начиналась от одной из утолщенных вертикальных линий. При масштабе 1 : 500 (1 см – 5 м) градация высот идет через 5 м, например 175, 180, 185 м и т. д.

Профиль начинают строить, отступив 3 см от нижнего края листа миллиметровой бумаги в вертикальном и горизонтальном направлении.

От данной точки начинается построение профильной сетки (размером 110×45 мм), т. е. горизонтальных линий, образующих графы с заголовками, со строгим соблюдением указанных на образце расстояний между линиями (рис. 10.1).

Далее надо определить общую длину профиля трассы в принятом горизонтальном масштабе (например, для профиля трассы длиной 1 км в масштабе 1 : 5000 (1 см – 50 м) длина трассы составит 200 мм, к ним добавляется 45 мм для надписей названий граф сетки и 5 мм на разрыв с сеткой профиля – всего 250 мм). Проводят горизонтальные линии соответствующей длины и местоположения (рис. 10.1 и прил. Б).

Заполнение граф сетки выполняется в следующей последовательности.

1. Пользуясь пикетажным журналом или журналом нивелирования, заполняют графу «Расстояния», отмечая на ней вертикальными отрезками (перегородками) пикеты (2 см – 100 м при масштабе 1 : 5000) и плюсовые точки. Под шкалой расстояний подписывают номера пикетов (графа «Пикеты»). На шкале около плюсовых точек подписывают расстояния в метрах до ближайших пикетов или плюсовых точек. Сумма расстояний, вписанных в шкалу в пределах одного пикета, должна равняться 100 м (например, для плюсовой точки ПК 0 + 66 соответственно расстояния 66 и 34 м).

2. В графу «Отметки земли» из журнала нивелирования выписывают уравненные отметки для соответствующих пикетов и плюсовых точек с точностью до 0,01 м.

3. По отметкам земли строят черную (фактическую) профильную линию, откладывая высоты точек в масштабе 1 : 500 вверх от линии условного горизонта, при этом пользуясь вертикальной шкалой

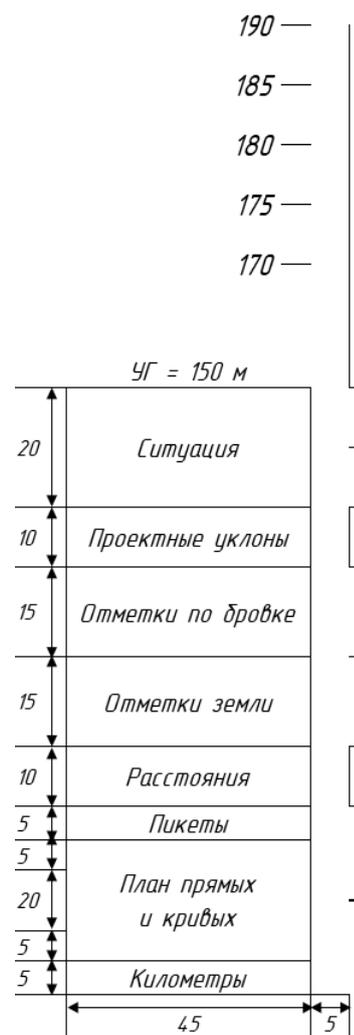


Рис. 10.1. Разграфка сетки профиля

высот (2 мм – 1 м), по которой по отметкам земли наносят на миллиметровку высоты всех пикетов и плюсовых точек. После соединения полученных смежных точек прямыми образуется продольный профиль поверхности земли по оси трассы.

4. В графе «Ситуация» по центру проводят ось трассы и по данным пикетажного журнала наносят элементы ситуации, углы поворота трассы, отмечают контуры в условных знаках (иногда вместо изображения условных знаков пишут соответствующие названия: «Луг», «Выгон», «Пашня» и т. д.).

5. По середине графы «План прямых и кривых», обозначающей ось проектируемой дороги, согласно данным, приведенным в пикетажном журнале, вычерчиваются прямолинейные участки трассы и круговые кривые в горизонтальном масштабе 1 : 5000. Круговые кривые изображают дугами 5 мм (если трасса поворачивает вправо, то дуга изображается выпуклостью вверх, если влево – то вниз). От начала кривой (НК) и конца кривой (КК) поднимаются перпендикуляры (до нижнего основания графы «Пикеты»). По обеим сторонам перпендикуляров подписываются расстояния от НК и КК до ближайших предыдущих пикетов. Например, если начало кривой – ПК 3 + 56,54, то вдоль перпендикуляра, проведенного от этой точки, пишут расстояния до ПК 3, равное 56,54. Разность пикетажных значений начала и конца кривой должна соответствовать длине кривой на профиле с учетом его масштаба. Внутри дуги выписываются главные элементы круговой кривой – θ , R , T , K , B , D . Румб участка трассы от ее начала до ВУ1 получают по значению измеренного магнитного азимута.

6. Длины прямолинейных участков трассы определяют как разность пикетажных обозначений начала следующей кривой и конца предыдущей кривой и подписывают их *над прямыми линиями* соответствующих отрезков. Длина первой прямой l_1 равна расстоянию от начала трассы (НТ) до начала первой круговой кривой (НК₁): $l_1 = НК_1 - ПК_0 = НК_1$.

Длина каждого последующего прямого участка трассы определяется как разность между началом последующей кривой и концом предыдущей: $l_n = НК_{n+1} - КК_n$.

Длина последнего участка l_n будет равна разности между концом трассы (КТ) и концом последней кривой (КК_n): $l_n = КТ - КК_n$.

7. По измеренному азимуту (или заданному преподавателем дирекционному углу α) первой линии трассы и углу поворота трассы (левому θ_l или правому θ_n) вычисляют дирекционный угол (азимут)

следующего прямого участка трассы α_{i+1} и румбы этих двух участков, которые подписывают *под прямыми отрезками* трассы:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \theta_{\text{п}}; \quad (10.10)$$

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - \theta_{\text{л}}, \quad (10.11)$$

где α_{i+1} , α_i – дирекционные углы (азимуты) соответственно последующего и предыдущего прямых отрезков трассы.

Румбы направлений вычисляют по формулам связи дирекционных углов (азимутов) и румбов.

8. В графе «Километры» кружками диаметром 5 мм обозначают целые километры трассы (прил. Б), называемые километровыми указателями. От кружков до линии пикетажа проводят вертикальные отрезки. Под кружками подписывают число, соответствующее расстоянию в километрах от начала трассы.

9. Пользуясь прозрачной линейкой, проводят на профиле *проектную линию отметок бровки дорожного полотна*. Проектная линия проектируется (т. е. на профиле указываются проектные точки перелома трассы) исходя из следующих условий:

а) должен соблюдаться баланс земляных работ (т. е. объем насыпей должен быть равен объему выемок);

б) уклоны на отдельных участках проектной линии не должны превышать допустимых пределов 0,040 (уклон в тысячных долях – это число метров подъема или спуска на 1 км длины), т. е. 40‰;

в) необходимо соблюдать равенство высот точек пересечения проектной линии с существующими дорогами;

г) проектная линия должна как минимум два раза пересекать линию отметок земли (иметь точки нулевых работ);

д) проектная линия должна иметь участки подъема, спуска и горизонтальные площадки (в местах понижений с целью прокладки трубопровода для водотока);

е) участки различного уклона не должны быть менее 200 м;

ж) проектная линия должна проходить над поверхностью воды при переходе через водотоки.

С учетом данных технических условий проектируют ось лесовозной дороги.

10. После построения проектной линии заполняют графу «Проектные уклоны», т. е. на ней вертикальными линиями отмечают места переломов проектного профиля – отделяющие один участок проектной линии от другого. Проектную отметку начального и конечного пикетов определяют, пользуясь шкалой высот (на профиле слева,

прил. Б). На каждом участке внутри графы чертой показывают условно знак уклона: горизонтальная линия означает нулевой уклон, линия идет вверх – положительный уклон, вниз – отрицательный уклон.

Над чертой, посередине пишут величину уклона i , а под ней – расстояние d , на котором действует данный уклон (прил. Б). Уклон участка излома i можно вычислить по формуле

$$i = \frac{H_k - H_n}{d}, \quad (10.12)$$

где H_k, H_n – проектные отметки соответственно конечной и начальной точек данного участка, м; d – горизонтальное проложение участка между начальной и конечной точками, м.

Например, для первого проектного участка трассы (рис. 10.2):

$$i = \frac{56,42 - 51,42}{250} = \frac{5}{250} = 0,0200 = 20\text{‰}.$$

Полученное значение уклона округляют до тысячных долей и заносят в верхнюю часть графы «Проектные уклоны», при этом диагональ по направлению вверх показывает, что уклон положительный, а снизу диагонали указывают длину участка.

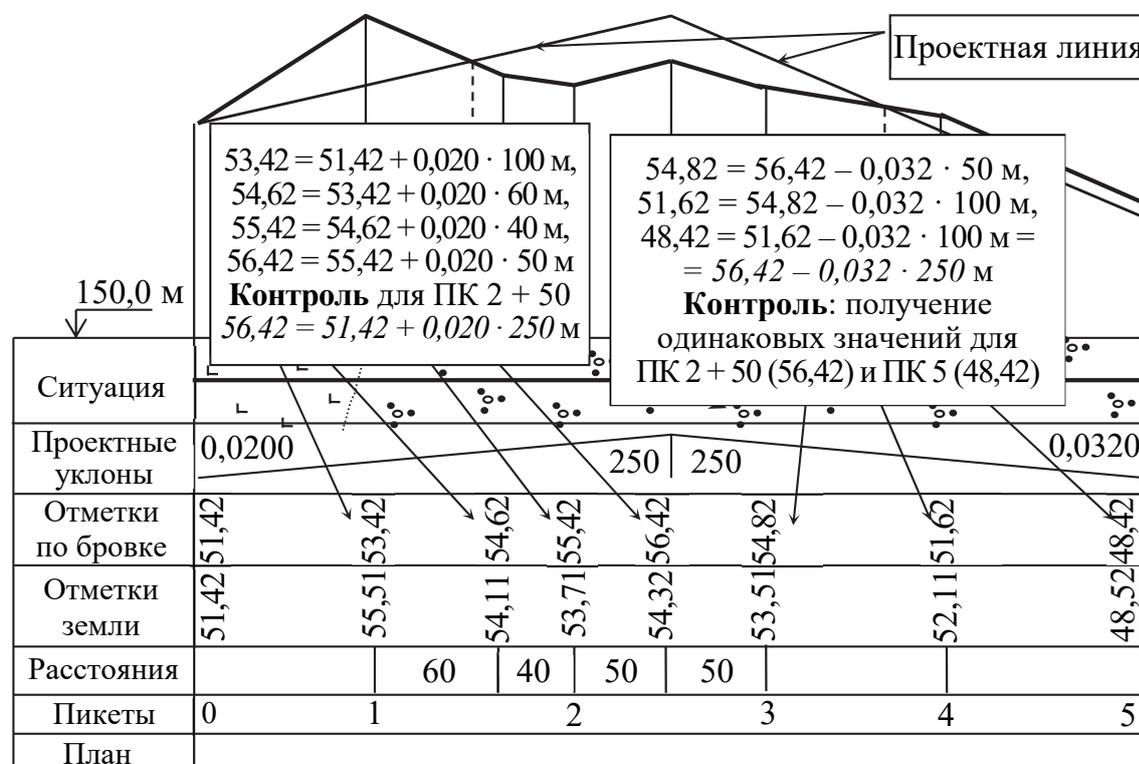


Рис. 10.2. Вычисление проектных отметок по бровке дорожного полотна (фрагмент)

Если участок проектной линии представляет собой горизонтальную площадку, то в графе «Проектные уклоны» над прямой линией пишут цифру 0 ($i = 0$), а под ней – протяженность площадки в метрах.

Вычисляют проектные отметки бровки земляного полотна для всех пикетов и плюсовых точек трассы (рис. 10.2). Проектная отметка начального пикета определена ранее по шкале высот. Отметки остальных пикетов и плюсовых точек вычисляют по формуле

$$H_i = H_{i-1} + i \cdot d_i, \quad (10.13)$$

где H_i – проектная отметка следующей точки трассы; H_{i-1} – проектная отметка предыдущей точки; i – уклон элемента, выраженный десятичной дробью, подставляется в формулу с его знаком; d_i – расстояние от начальной точки до точки, в которой определяется отметка.

Контроль вычислений заключается в совпадении расчетов проектной отметки на конечной точке расчетного уклона. Например (рис. 10.2), $H_{\text{пр ПК } 2 + 50} = 55,42 + 0,0200 \cdot 50 = 56,42$ м и $H_{\text{пр ПК } 2 + 50} = 51,42 + 0,0200 \cdot 250 = 56,42$ м совпадают, что говорит о правильности расчетов. Таким образом, зная проектную отметку начальной точки, уклон линии и расстояние между точками, можно проверить любую проектную точку на заданном уклоне, например: $H_{\text{пр ПК } 2} = 51,42 + 0,020 \cdot 200 = 55,42$ м (рис. 10.2).

11. На каждом пикете и плюсовой точке профиля вычисляют *рабочие отметки* h_p (высота насыпи или глубина выемки в каждой расчетной точке) как разницу между проектной отметкой по бровке дорожного полотна $H_{\text{пр}}$ и отметкой земли $H_{\text{зем}}$:

$$h_p = H_{\text{пр}} - H_{\text{зем}}. \quad (10.14)$$

Высоты насыпей ($h_p > 0$) записывают над проектной линией, глубины выемок ($h_p < 0$) – под ней. Над точками пересечений линии профиля поверхности земли с проектной линией ($h_p = 0$), называемыми *точками нулевых работ*, записывают рабочие отметки 0,00.

12. Определяют положение точек нулевых работ. Для этого проводят вертикальные линии от точек пересечения проектной линии с линией профиля (рис. 10.3) местности (*точки нулевых работ*) до линии условного горизонта и вычисляют горизонтальное

расстояние l_1 и l_2 от этих точек до ближайшего пикета или плюсовой точки по формулам:

$$l_1 = \frac{|h_1|}{|h_1| + |h_2|} \cdot l; \quad (10.15)$$

$$l_2 = \frac{|h_2|}{|h_1| + |h_2|} \cdot l, \quad (10.16)$$

где h_1 и h_2 – рабочие отметки в точках (по модулю), между которыми находится точка нулевых работ; l – расстояние между этими точками.

Выполняют контроль $l_1 + l_2 = l$ (сходимость значений укажет на отсутствие погрешностей вычислений). Округленные до 0,1 м значения l_1 и l_2 пишут слева и справа от

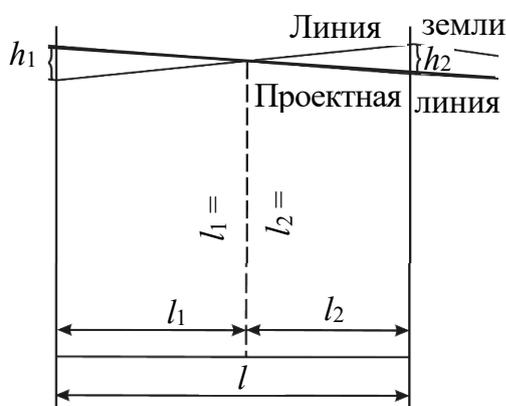


Рис. 10.3. Определение расстояний до точек нулевых работ

штриховой линии (рис. 10.3), представляющей собой перпендикуляр, опущенный из точки нулевых работ на линию условного горизонта.

Переведя, согласно выбранному масштабу 1 : 5000, расстояние l_1 из метров в сантиметры (1 см – 50 м), контролируют правильность проведенного штрихового перпендикуляра из точки нулевых работ. При несоответствии ищут ошибку.

13. Строят *поперечные профили* трассы. Такие профили составляются в одном масштабе 1 : 1000 (1 см – 10 м) как для горизонтальных, так и для вертикальных расстояний (рис. 10.4).

Поперечные профили помещают над продольным профилем трассы вблизи их места по пикетажу (прил. Б) и строят по данным журнала нивелирования и пикетажного журнала (книжки). Выбирают номер пикета, находят его расположение на продольном профиле и поднимают перпендикуляр над уровнем профиля. Указывают точку расположения данного пикета (необходимо учитывать, чтобы поперечник не пересекал продольный профиль). От этой пикетной

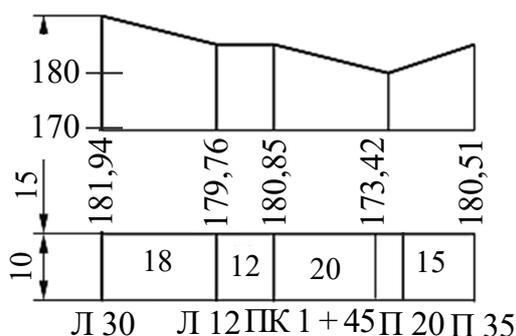
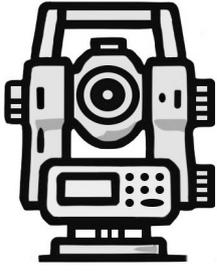


Рис. 10.4. Поперечный профиль на пикете ПК 1 + 45 (пример)

точки поперечника влево и вправо откладывают расстояния точек поперечного профиля (рис. 10.4) с указанием названия и длин. Поднимают перпендикуляры и формируют графу с расстояниями. Отметки земли выписывают над соответствующими названиями точек поперечника с точностью 0,01 м. Откладывают высотные отметки в соответствии с принятой шкалой высот для выбранного масштаба. Соединив образовавшиеся точки отрезками прямых, получают линию земли в поперечном направлении относительно трассы. При выполнении задания необходимо построить только линию земли без проектирования.

14. Оформляют *продольный и поперечный профили*. Профиль, составленный карандашом, после проверки преподавателем обводят тушью или гелевыми ручками следующих цветов: *красным* – графы «План прямых и кривых», «Отметки по бровке дорожного полотна», «Проектные уклоны», ось трассы в графе «Ситуация», проектную линию, *синим* (или красным) – рабочие отметки, точки нулевых работ, отметки этих точек, расстояния от точек нулевых работ до соседних пикетов, перпендикуляры, опущенные из точек нулевых работ на линию «условного горизонта»; *черным* – все остальные линии, надписи и цифры, поперечный профиль оформляется черным цветом полностью.

Все надписи пишут *чертежным* шрифтом. Линию проектного профиля утолщают до 0,4 мм, остальные линии прочерчивают толщиной около 0,2 мм.



ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА. СОЗДАНИЕ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

В настоящее время тахеометрическая съемка является самым распространенным видом наземных топографических съемок. В сочетании с теодолитной съемкой она выполняется для съемки контуров ситуации и съемки рельефа местности. Применяется для создания топографических планов небольших участков в крупных масштабах и состоит в наборе измеряемых реечных точек (съемочных пикетов) в характерных местах снимаемого участка.

Тахеометрия (от греч. *tachys* – быстрый и *metric* – измеряю, т. е. быстрые измерения) – это один из видов топографической съемки, когда одновременно определяют плановое и высотное положение точек местности. Суть тахеометрической съемки заключается в том, что со станции одновременно определяют три пространственные полярные координаты при наведении на нивелирную рейку: горизонтальный угол, вертикальный угол (угол наклона) и расстояние от станции до реечной точки, которое измеряется дальномером.

Реечной называется точка (пикет), предназначенная для съемки ситуации и рельефа местности, на которую устанавливают тахеометрическую или нивелирную рейку, *станцией* – точка съемочного обоснования, над которой центрируется теодолит-тахеометр (при необходимости могут дополнительно закладываться *створные* и *висячие* точки).

Традиционно реечные точки делят на *плановые* (или *контурные*) – необходимые только для определения объектов местности в плоскости (X, Y) или в плане, *высотные* (*рельефные*) – для определения объектов только по высоте, и *планово-высотные* – определяющие положение точки как в плане, так и по высоте. При этом требуется соблюдать *густоту* пикетов, которая в зависимости от масштаба съемки требует, чтобы расстояние между ними было примерно 15–40 м.

Как правило, тахеометрическая съемка начинается с создания планово-высотного обоснования, которое состоит:

– из теодолитно-нивелирного хода с плановой и высотной привязкой к реперам (т. е. сначала закладывается теодолитный ход для

определения координат станций, который затем нивелируется геометрическим способом);

– из тахеометрического хода (происходит одновременная съемка горизонтальных углов и измерения расстояния между станциями с помощью нитяного дальномера, а превышения определяют методом тригонометрического нивелирования).

11.1. Создание планового съемочного обоснования

Порядок полевых работ при создании планового съемочного обоснования:

- 1) перед началом работ проводятся все основные поверки приборов;
- 2) изучение участка местности (рекогносцировка) и закрепление точек тахеометрического хода с привязкой к реперам. При обследовании участка намечаются вершины хода, границы съемки участка, ситуация и рельеф, подлежащие съемке, методы их съемки – со станции должен открываться хороший обзор для наиболее полной съемки необходимой ситуации (речных точек). Вершины выбирают с таким расчетом, чтобы было удобно выполнять угловые и линейные измерения, съемочные работы. Составляется схема тахеометрического хода (рис. 11.1);

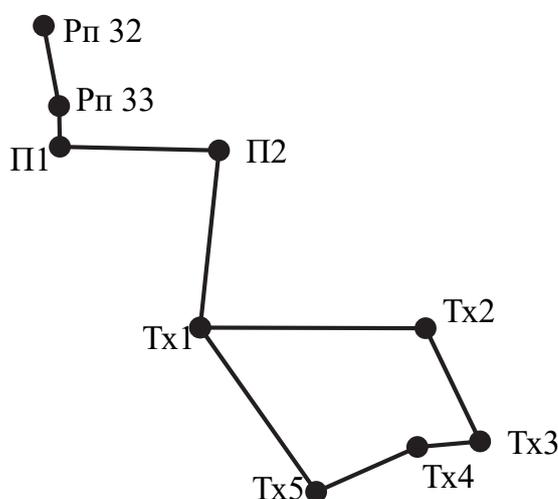


Рис. 11.1. Схема съемочного обоснования (тахеометрический ход)

- 3) измерение горизонтальных углов и расстояний – порядок их выполнения аналогичен выполняемым ранее при теодолитной съемке (см с. 36–38) и результаты заносятся в «Журнал измерения горизонтальных углов и длин линий» (рис. 2.4);

- 4) камеральная обработка результатов и получение координат вершин аналогична теодолитной съемке (табл. 4.1 на с. 49–50; табл. 11.1).

Ведомость вычисления координат вершин тахеометрического хода

Номер точки	Горизонтальный угол β		Дирекционный угол α	Румб стороны r	Горизонтальное проложение d_i , м	Приращение координат, м			Координаты точек, м		Номер точки	
	измеренный β'	уравненный β				$\pm\Delta X'$	$\pm\Delta Y'$	вычисленные $\pm\Delta X'$	уравненные $\pm\Delta X$	X		Y
Рп 32	-	-	175°13'	-	-	-	-	-	-	10 376,764	10 873,103	Рп 32
Рп 33	175°41'	175°41'	179°32'	ЮВ : 0°28'	48,53	-48,528	0,395	-48,528	0,395	10 281,280	10 881,102	Рп 33
П1	262°35'	262°35'	92°57'	ЮВ : 87°3'	83,16	-4,280	83,050	-4,280	83,050	10 232,752	10 881,497	П1
П2	90°17'	90°17'	182°40'	ЮЗ : 2°40'	211,05	-210,821	-9,819	-210,821	-9,819	10 228,472	10 964,547	П2
Тх1	272°15'	272°15'	90°25'	-	-	-	-	-	-	10 017,651	10 954,728	Тх1
Тх2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Тх2
<i>Замкнутый теодолитный ход</i>												
Тх1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тх1	-	-	90°25'	ЮВ : 89°35'	117,54	+0,037 -0,855	+0,043 117,537	-0,818	117,580	10 017,651	10 954,728	Тх1
Тх2	102°20'	102°20'	168°5'	ЮВ : 11°55'	137,63	+0,043 -134,664	+0,051 28,419	-134,621	28,470	10 016,833	11 072,308	Тх2
Тх3	89°44'	89°44'	258°21'	ЮЗ : 78°21'	33,41	+0,011 -6,747	+0,012 -32,722	-6,736	-32,71	9 882,212	11 100,778	Тх3
Тх4	213°36'	213°36'	224°45'	ЮЗ : 44°45'	75,05	+0,024 -53,299	+0,028 -52,836	-53,275	-52,808	9 875,476	11 068,068	Тх4
Тх5	61°58,5'	61°59'	342°46'	СЗ : 17°14'	204,57	+0,064 195,386	+0,075 -60,607	195,450	-60,532	9 822,201	11 015,260	Тх5
Тх1	72°20,5'	72°21'	90°25'	-	-	-	-	-	-	10 017,651	10 954,728	Тх1
Тх2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Тх2
-	$\sum \beta' = 539°59'$	$\sum \beta = 540°00'$	-	-	$\sum d_i = 568,20$	$\sum \Delta X' = -0,179$	$\sum \Delta Y' = -0,209$	$\sum \Delta X = 0$	$\sum \Delta Y = 0$	-	-	-
-	$\sum \beta_{\text{теор}} = 540°00'$	-	-	-	-	$\sum \Delta X_{\text{теор}} = 0$	$\sum \Delta Y_{\text{теор}} = 0$	$K_X = 0,00031503$	-	-	-	-
-	$f_\beta = -0°01'$	-	-	-	-	$f_X = -0,179$	$f_Y = -0,209$	$K_Y = 0,00036783$	-	-	-	-
-	$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 4,5'$	-	-	-	-	$f_{X \text{ доп}} = 0,28$	$f_{Y \text{ доп}} = 0,57$	$\sum \nu_{X_i} = 0,179$	$\sum \nu_{Y_i} = 0,209$	-	-	-

11.2. Создание высотного съемочного обоснования

Высотное съемочное обоснование представляет собой систему точек с известными отметками (высотами) по вершинам теодолитного хода.

Полевые работы по созданию высотного обоснования:

1) измерение превышений между точками съемочного обоснования;

2) камеральная обработка результатов нивелирования и получение высотных отметок пунктов съемочного обоснования.

Ход начинается с репера с известной отметкой (привязка) и идет по точкам теодолитного хода. Привязочным нивелирным ходом на рис. 11.1 являются линии Рп 33 – П1 – П2 – Тх1, далее образуется замкнутый нивелирный ход Тх1 – Тх2 – Тх3 – Тх4 – Тх5 – Тх1, сумма превышений которого должна равняться нулю.

Первым методом при создании высотного съемочного обоснования является *геометрическое нивелирование*, отсчеты при котором выполняют по рейкам, обязательно установленным на вбитые в землю колышки. В том случае, если превышение между вершинами теодолитного хода невозможно определить с одной станции, добавляют вспомогательные *иксовые* точки и производят последовательное нивелирование через них.

Последовательность работы на станции такая же, как и при нивелировании трассы:

– нивелир устанавливают посередине между связующими точками;

– перед взятием каждого отсчета пузырек круглого уровня приводят на середину (нуль-пункт) тремя подъемными винтами подставки;

– устанавливают рейку на заднюю точку, приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, снимают отсчеты по черной стороне, а затем по красной и записывают результат в журнал (рис. 9.8 на с. 112, табл. 11.2);

– визируют прибор на переднюю точку, приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, снимают отсчет по черной стороне рейки передней точки, затем поворачивают рейку на красную сторону и снимают отсчет и записывают в журнал (рис. 9.8, табл. 11.2);

– вычисляют превышения по черной и красной сторонам реек;

– если расхождение в превышениях не более 5 мм, то в журнале (табл. 11.2) определяют среднее значение превышения на станции.

Таблица 11.2

**Пример журнала технического нивелирования
по теодолитно-нивелирному ходу на участке тахеометрической съемки**

Номер станции	Пикеты, реперы и промежуточные точки	Отсчеты по рейке, мм		Превышения h', h'' , мм	Среднее превышение $h_{ср}$, мм	Абсолютные отметки H , м	Примечания
		задней $З$	передней $П$				
1	Тх1	0774			+2	173,956	Высота Тх1 (получена после обработки привязочного хода)
		5572		-187	-188		
	Тх2		0961	-189	-186	173,77	
			5761				
2	Тх2	0384			+3	173,77	
		5188		-1300	-1298		
	Тх3		1684	-1296	-1295	172,475	
			6484				
3	Тх3	0746			+2	172,475	
		5535		-787	-787		
	Тх4		1533	-787	-785	171,690	
			6322				
4	Тх4	1311			+3	171,690	
		6111		553	553		
	Тх5		0758	553	556	172,246	
			5558				
5	Тх5	2534			+2,5	172,246	x 1 – иксовая точка
		7333		679	678,5		
	x 1		1855	678	681	172,927	
			6655				
6	x 1	2757			+2,5	172,927	Высота Тх1 (получена после обработки привязочного хода)
		7560		1025	1026,5		
	Тх1		1732	1028	1029	173,956	
			6532				

$$\Sigma Z = \underline{45\ 805}$$

$$\Sigma h_{ср} = \underline{-15} \text{ мм}$$

$$\Sigma П = \underline{45\ 835}$$

$$\Sigma h_{теор} = H_K - H_N = H_{Тх1} - H_{Тх1} = 0 \text{ мм}$$

$$\frac{\Sigma Z - \Sigma П}{2} = 15 \underline{\hspace{1cm}}$$

$$f_h = \Sigma h_{ср} - \Sigma h_{теор} = -15 \text{ мм}$$

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{n} = \pm 24,5 \text{ м}$$

Важно! Нивелир не переносят на следующую станцию, пока не выполнены необходимые полевые вычисления в журнале.

Далее происходит камеральная вычислительная обработка результатов нивелирования, пример которой приведен в табл. 11.1,

в такой же последовательности, как и при нивелировании трассы (см. пункт 10.1).

1. Рассчитывают *превышения* (h) по формуле $h = З - П$ и записывают в соответствующую знак графу «Пре́вышения».

2. Выполняют внизу страницы *постраничный контроль*.

3. В графу журнала «Отметки H » записывают *высоты пунктов полигонометрии* (выдается преподавателем) или *высоту известной точки* (полученной после обработки привязочного нивелирного хода).

4. Определяют и указывают внизу страницы журнала *фактическую невязку* превышений и ее *допустимую невязку* в миллиметрах. Для продолжения вычислений в журнале необходимо, чтобы между вычисленными невязками *соблюдалось неравенство*: $f_h \leq f_{h \text{ доп}}$.

5. Уравнивают средние превышения.

6. Вычисляют *отметки* (H) связующих точек.

Контролем правильности вычисления отметок является полученная в конце хода известная отметка конечной точки (табл. 11.2). При невыполнении контроля возможны ошибки при вычислении отметок связующих точек в величине и знаке поправок $v_{h, i}$, в вычислении уравниваемых превышений h_i .

Вторым методом при создании высотного съемочного обоснования является *тригонометрическое нивелирование*. В результате его определяют превышения h между опорными точками теодолитного хода и затем вычисляют их высоты H от известной высоты начальной станции (точки) или репера. Чаще всего данный вид нивелирования выполняют как часть тахеометрической съемки с занесением полученных данных в «Журнал тахеометрической съемки» (рис. 11.2).

« 7 » июня 20 23 г. Станция Тх1 Ориентировка на _____
 КП = 0°11' МО = 0°01' Круг _____
 КЛ = -0°09' i = 1,35 Н.ст. = _____

№ п/п	№ станции	Высота нивелиции (H), м	Отсчет по кругу				Угол наклона	Горизонтальное проложение, м	Превышение, м $h = H_2 - H_1 - i$	Отметка, м $H_2 = H_1 + h$	Примечание (горизонтальный угол)			
			горизонтальному		вертикальному									
			о	'	о	'								
Тх5	1,35	204,57	347	47	0	7								
Тх2	1,35	117,54	275	27	0	29				72°20'				
Тх5	1,35	204,57	167	48	-0	5	-0	6	204,56	-1,67	0	-1,67	-	72°21'
Тх2	1,35	117,54	95	27	-0	27	-0	28	117,54	-0,21	0	-0,21	-	72°20,5'

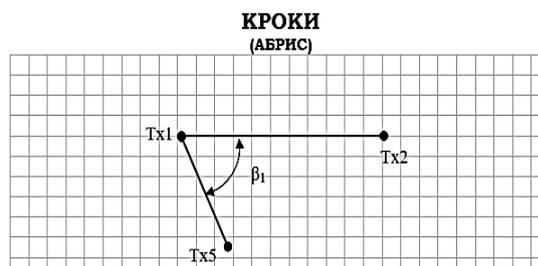


Рис. 11.2. Заполнение журнала тахеометрической съемки с использованием тригонометрического нивелирования (фрагмент)

Работа на местности заключается в измерении углов наклона в одном приемом и расстояний между станциями. С целью контроля

измерения выполняются как в прямом (с точки Тх1 на точку Тх2), так и в обратном (с точки Тх2 на точку Тх1) направлениях.

Методика измерения вертикальных углов:

– на станции с известной высотной отметкой (например, Тх1, при условии, что уже измерен привязочный ход (рис. 11.1) и обработаны полученные результаты) устанавливается теодолит и приводится в рабочее положение;

– измеряется высота инструмента i с помощью рейки (на которой она указывается), установленной на кольшек, до горизонтальной оси вращения трубы с точностью до ± 1 см и записывается в журнал (рис. 11.2);

– в следующей по ходу точке полигона (например, станция Тх2) вертикально на кольшек устанавливается нивелирная рейка, и перекрестие сетки нитей зрительной трубы визируется на отмеченную ранее высоту инструмента. В этом случае высота инструмента i и высота наведения по рейке V будут равны ($i = V$);

– снимаются отсчеты *по вертикальному кругу* (см. пункт 1.1, с. 18) теодолита при положениях КЛ, а затем КП для определения *места нуля* (МО), которое для теодолита 2Т30 определяется как среднеарифметическое из этих двух отсчетов. Результаты заносятся в журнал (рис. 11.2);

– отсчет по вертикальному кругу *при круге слева* (КЛ) заносится в журнал в одноименную графу (рис. 11.2);

– измеряется расстояние по нитяному дальномеру (см. пункт 11.3) или мерной лентой (отмечается в журнале (рис. 11.2));

– для определения обратного превышения на заднюю по ходу точку полигона (например, станция Тх5) на кольшек вертикально устанавливается рейка, и перекрестие сетки нитей зрительной трубы наводится на отмеченную ранее высоту инструмента *при круге слева*, снимается отсчет (КЛ) и заносится в журнал в графу «Отсчет по вертикальному кругу» (например, по точке Тх5).

На всех последующих точках хода порядок измерения аналогичен.

Далее производится *камеральная вычислительная обработка* результатов тригонометрического нивелирования:

1) вычисляются на станции место нуля (МО), угол наклона (v), горизонтальное проложение (d) и истинное превышение (h). Предельное расхождение истинных превышений, измеренных в прямом и обратном направлениях, составляет $\pm 0,04$ м на 100 м расстояния;

2) переносятся данные из журнала (рис. 11.2) в табл. 11.3: номера точек хода, длины линий (D , м) и превышения (прямые и обратные) сторон хода;

Таблица 11.3

Пример обработки результатов тригонометрического нивелирования

Номер точки	Длина линий, м	Превышения, м			Поправки, м	Исправленные превышения, м	Отметки, м
		прямые	обратные	средние			
Тх1							173,956
	117,54	-0,21	0,17	-0,19	+0,01	-0,18	
Тх2							173,776
	137,63	-1,32	1,28	-1,30	+0,01	-1,29	
Тх3							172,486
	33,41	-0,80	0,78	-0,79	0	-0,79	
Тх4							171,696
	75,05	0,53	-0,57	0,55	+0,01	0,56	
Тх5							172,256
	204,57	1,71	-1,67	1,69	+0,01	1,70	
Тх1							173,956
$\Sigma D = 568,20$ м	–	$\Sigma h_{\text{ср}} = -0,04$ м					–
$\Sigma D_{\text{с}} = 5,68$ с. м.	–	$\Sigma h_{\text{теор}} = H_{\text{к}} - H_{\text{н}} = H_{\text{Тх1}} - H_{\text{Тх1}} = 0$ м					–
(в сотнях метров)	–	$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - \Sigma h_{\text{теор}} = -0,04 - 0 = -0,04$ м					–
–	–	$f_{h \text{ доп}} = \pm 0,10$ м					–

3) вычисляется среднее превышение из модульных значений прямого и обратного превышений, при этом *знак среднего превышения соответствует знаку превышения в прямом направлении*;

4) рассчитывается сумма средних превышений ($\Sigma h_{\text{ср}}$) и общая длина линий хода в метрах (ΣD). Представляется данная сумма в сотнях метров ($\Sigma D_{\text{с}}$) с делением на 100;

5) рассчитывается теоретическая сумма превышений как разница между отметками конечной ($H_{\text{к}}$) и начальной ($H_{\text{н}}$) точек. Поскольку *в замкнутом ходе* одна точка является и начальной, и конечной, то *теоретическая сумма* превышений будет равна нулю;

6) далее определяется фактическая невязка превышений как разница между суммой средних и теоретической суммой превышений;

7) рассчитывается допустимая невязка по формуле

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 0,04 \cdot \frac{\Sigma D_{\text{с}}}{\sqrt{n}}, \quad (11.1)$$

где 0,04 – предельная допустимая погрешность среднего превышения для расстояния в одну сотню метров, м; n – количество сторон хода, шт.

Полученные результаты расчетов записываются в таблицу под всеми записями (табл. 11.3);

8) выполняется контроль, чтобы фактическая невязка была меньше либо равна допустимой ($f_h \leq f_{h \text{ доп}}$);

9) рассчитываются поправки (*с противоположным невязке знаком*) для уравнивания средних превышений (с округлением до 0,01 м):

$$v_{h,i} = \frac{-f_h}{\sum D} \cdot D_i; \quad (11.2)$$

10) выполняется контроль, чтобы сумма всех поправок равнялась фактической невязке с обратным знаком ($\sum v_{h,i} = -f_h$);

11) рассчитываются исправленные превышения по формуле (10.8) (с. 119);

12) выполняется контроль, чтобы сумма исправленных превышений равнялась теоретической сумме превышений ($\sum h_{\text{испр}} = \sum h_{\text{теор}}$);

13) при соблюдении условия последовательно рассчитываются отметки точек, начиная от точки хода с известной высотной отметкой (или от репера), по формуле (10.9) (с. 119);

14) производится контроль данных расчетов, который заключается в совпадении отметки конечной точки с рассчитанной по формуле (10.9).

11.3. Снятие отсчета по дальномеру и определение коэффициента дальномера

Наиболее распространенным для измерения расстояний является нитяной дальномер с постоянным параллактическим углом. Он весьма прост по устройству и имеется в зрительных трубах всех геодезических приборов. Сетка нитей таких труб кроме основных вертикальной и горизонтальной нитей имеет дополнительные штрихи (нити), называемые *дальномерными* – n_1 и n_2 (рис. 11.3).

Для измерения расстояния с помощью дальномера теодолит устанавливается на точку, приводится в рабочее состояние и направляется на рейку, установленную на точке, расстояние до которой необходимо определить. Снимают отсчет по рейке по нижней дальномерной нити (n_1), например 1140 мм (рис. 11.3, а), затем по верхней (n_2), например 1361 мм (рис. 11.3, а), определяют дальномерное расстояние (база дальномера):

$$\Delta n = n_2 - n_1 = 1361 - 1140 = 221 \text{ мм} = 22,1 \text{ см.}$$

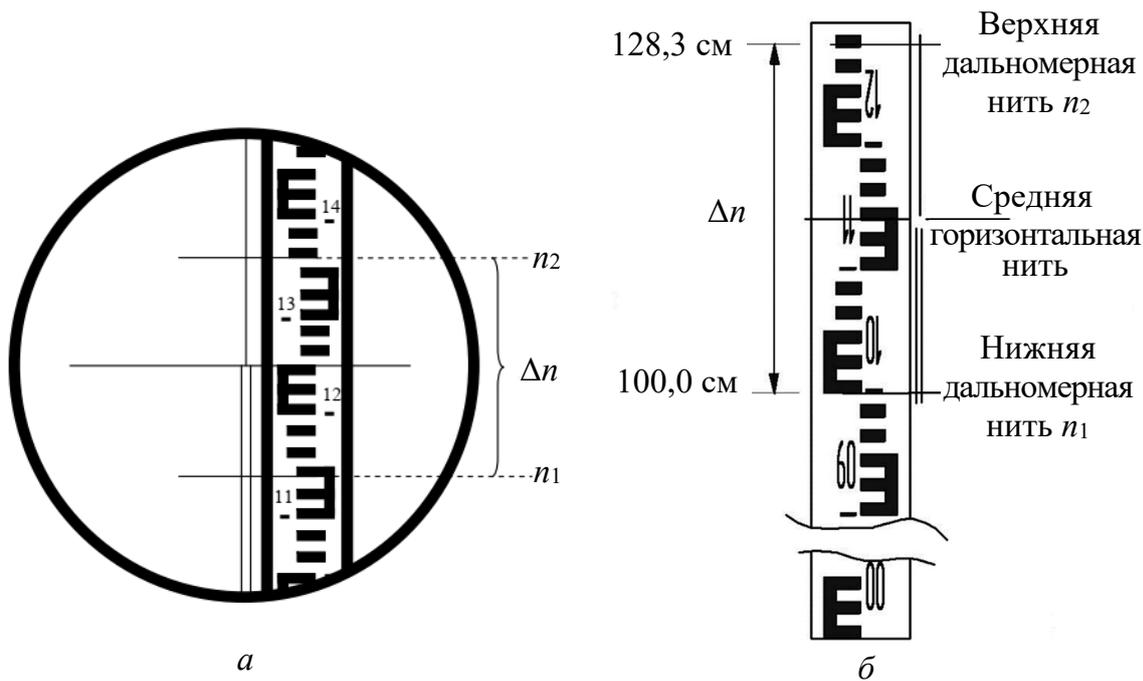


Рис. 11.3. Снятие отсчетов по нитяному дальномеру

Дальнейшие вычисления зависят от коэффициента дальномера (K), который представляет собой отношение фокусного расстояния к дальномерному. Конструктивно во всех геодезических приборах $K = 100$, но иногда погрешности нанесения штрихов сетки нитей, изготовления дальномерной рейки и оптических деталей трубы приводят к небольшим погрешностям K (фактически отклонение от 100 должно быть не больше $\pm 0,5\%$). Поэтому если планируется выполнение линейных измерений нитяным дальномером, то рекомендуется определять значение K для каждого теодолита-тахеометра и комплекта нивелирных реек (как *дополнительная специальная проверка теодолита*).

Коэффициент дальномера определяют путем измерения дальномером отложенных на местности расстояний в 50, 100 и 150 м (рис. 11.4). Концы отрезков закрепляются в земле кольшками, а длины этих отрезков должны быть измерены в прямом и обратном направлениях компарированной рулеткой.

Поочередно ставя на кольшки рейку, определяют дальномерные расстояния Δn_1 , Δn_2 и Δn_3 , затем делением расстояния (D_i) на разность отсчетов (Δn_i), например $K_1 = D_1 / \Delta n_1$ и т. д., вычисляют три значения коэффициента дальномера (записываются в тетрадь-дневник практики). Из них рассчитывают среднее арифметическое значение (K), которое и используется далее в расчетах.

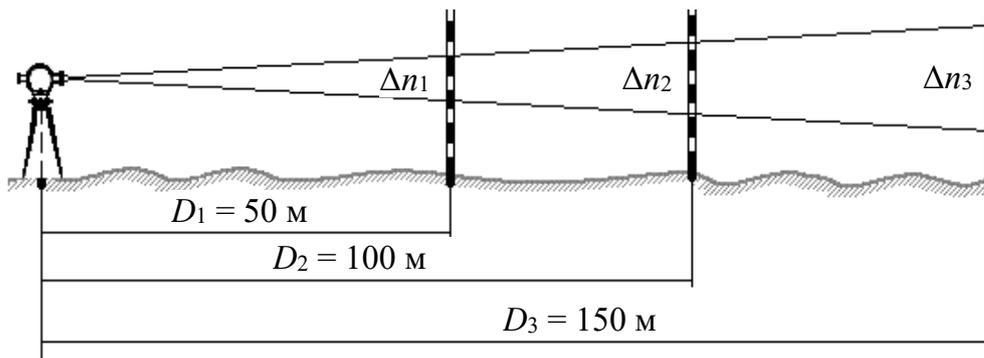


Рис. 11.4. Схема определения коэффициента дальномера

По умолчанию коэффициент дальномера в теодолитах 2Т30 (Т30) принимается за 100, и расстояние D находится по формуле

$$D = K \cdot \Delta n + c \approx K \cdot \Delta n, \quad (11.3)$$

где c – постоянное слагаемое дальномера, величина которого крайне мала по сравнению с точностью отсчета, поэтому ей обычно пренебрегают при расчетах.

Поэтому для рис. 11.3, а: $D = 100 \cdot 22,1 \text{ см} = 2210 \text{ см} = 22,1 \text{ м}$.

Важно! Для упрощения снятия отсчетов по дальномеру нижний (меньший) дальномерный штрих n_1 совмещают с делением шкалы 10 дм (1000 мм), т. е. отсчет $n_1 = 100,0 \text{ см}$ (рис. 11.3, б); при этом отсчет по верхнему (большему) дальномерному штриху $n_2 = 128,3 \text{ см}$. В нашем примере дальномерное расстояние Δn составляет: $\Delta n = n_2 - n_1 = 128,3 - 100,0 = 28,3 \text{ см}$, что при коэффициенте дальномера, равном 100, будет равно расстоянию 28,3 м (рис. 11.3, б).

Данный способ определения дальномерного интервала является более предпочтительным, поскольку требуется взятие только одного отсчета по верхнему штриху нитяного дальномера, а нижний отсчет, равный кратному значению метра (100 см), отнимается, и таким образом исключается арифметическая операция определения разности отсчетов, что ускоряет процесс съемки.

Примечание. В виде исключения (если не видна часть рейки с одним из дальномерных штрихов) допускается определение расстояния по двум штрихам – среднему и верхнему (рис. 11.3, б), но при этом нужно разность отсчетов увеличить в два раза ($K = 200$).



ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

12.1. Абрис и кроки

Тахеометрическая съемка начинается с зарисовки *абриса* – схематического чертежа местности, выполненного от руки, на котором условными знаками соразмерно показываются элементы ситуации и рельефа относительно станций теодолитного хода, или *кроки* (фр. *croquis* – чертёж) – чертежа, который составляют на глаз в довольно крупном масштабе отдельно для каждой съёмочной точки. На нем показывают положение всех реечных точек, а также основные элементы местности: контуры угодий, застройку, названия.

В ходе проведения съемки в абрисе отмечают местоположение съёмочных пикетов с подписью их порядковых номеров (рис. 12.1). Съёмочные пикеты следует намечать на характерных точках ситуации – *контурных точках* (поворот дороги, тропы, их пересечение, углы зданий, сооружений и контуров объектов, столбы линий электропередач и т. д.), и рельефа – *рельефных точках* (повышения и понижения местности с равномерным обходом всех крупных форм рельефа). При этом необходимо строго следить, чтобы нумерация точек в журнале и в абрисе совпадала. Во всех возможных случаях реечные точки рельефа и ситуации совмещают.

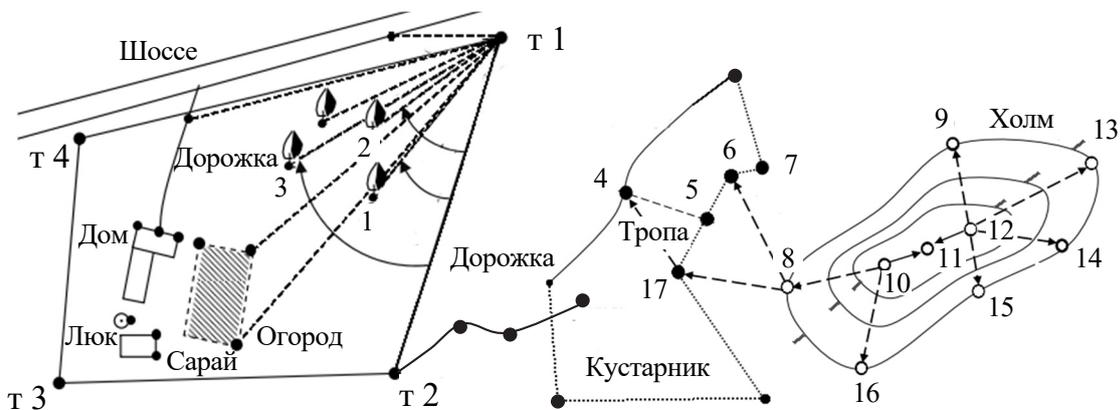


Рис. 12.1. Схематичное расположение реечных точек (абрис):

● – контурные точки; ○ – высотные точки

Для выполнения тахеометрической съемки *необходимо 4–5 человек*, а также *приборы и инструменты*: теодолит-тахеометр, штатив с отвесом и противовесом, резинка или яркая веревочка, рейки нивелирные – 2 шт., вешка, рулетка, полевой журнал тахеометрической съемки, полевая сумка, тетрадь-дневник практики или листы формата А4.

На каждой станции перед началом тахеометрической съемки бригадир, речники и записывающий делают рекогносцировку местности, выявляют характерные точки ситуации и рельефа (здания, дороги, инженерные коммуникации, водоразделы, перегибы скатов и др.), намечают положение пикетов (речных точек).

Размещение реек по пикетам является важным моментом работы, поэтому за него отвечает бригадир, который лично руководит расстановкой студентов бригады с рейками (речников), дает соответствующие указания, производит некоторые работы по определению положения точек, лежащих вблизи выставленной рейки, и делает различные промеры, например определяет ширину дороги, измеряет стороны зданий, сооружений и т. д.

При съемке в масштабе $1 : 500$ и высоте сечения рельефа $0,5$ м расстояния от теодолита до речной точки при съемке рельефа не должны быть более 100 м, при съемке непостоянных контуров – 80 м, при съемке твердых контуров – 60 м. Расстояния между соседними речными точками должны быть в пределах 15 м.

При съемке рельефа пикеты стремятся распределить равномерно по всему участку съемки. Если рельеф выражен резко, то рационально точки выбирать в наиболее характерных местах – на вершинах, хребтах, точках перегиба ската и т. д.

При съемке ситуации пикеты должны быть на всех поворотах контура. Контур принимают за прямую в том случае, если лежащие на нем точки отклоняются от прямой не более чем на $0,10–0,35$ м (в масштабе $1 : 500$) в зависимости от вида контура. Чем отчетливее очерчен контур, тем точнее он должен быть снят.

Примечание. Съемку не всех элементов ситуации целесообразно производить пикетами (точками). Некоторые размеры легче измерить и указать их на абрисе, например ширину дороги, лесополосы, газона, реки, выступов и уступов по периметру здания.

В целях контроля и во избежание пропусков («окон») при тахеометрической съемке следует определять с каждой станции несколько пикетов, измеренных с соседних станций.

Важно! При переходе с одной станции на другую нумерацию пикетов необходимо продолжать, т. е. номера не должны повторяться (*сквозная нумерацию* для всего участка работ). Сквозная нумерация должна быть совмещенной для речных точек рельефа и ситуации, т. е. если на первой станции взяли 18 пикетов (речных точек), то на второй станции начинают с 19-го пикета, причем в этом случае и в тахеометрическом журнале, и в кроки подчеркивают номер последнего пикета, взятого на каждой станции. Нумерацию пикетов необходимо все время сверять (обязательной должна быть поверка каждого 10-го, 20-го и т. д. пикетов).

Результаты всех измерений по определению планово-высотного положения съемочных точек и абрис (или кроки) заносят в специальный полевой журнал – «Журнал тахеометрической съемки» (рис. 12.2). В последствии данный журнал проходит камеральную обработку.

7 июля 2024 г. Станция Тх4 Ориентировка на Тх5
 КП = 0°10' МО = 0°00' Круг Л
 КА = -0°10' i = 1,34 м Н.ст = 171,69 м

№ пикета	Высота пикетации (i), м	Отсчет по кругу				Угол наклона	Горизонтальное проложение, м	h	i-V	Превышение, м h = H _п - H _{ст}	Отметка, м H = H _{ст} + h	Примечание (горизонтальный угол)		
		горизонтальному		вертикальному										
		о	с	о	с									
19	1,34	22,1	345	51	0	04	0	04	22,10	0,03	0	0,03	171,72	
20	1,34	26,5	352	30	0	05	0	05	26,50	0,04	0	0,04	171,73	
21	1,34	52,0	292	59	-0	55	-0	55	51,99	-0,83	0	-0,83	170,86	
22	1,34	32,9	310	15	-0	14	-0	14	32,90	-0,13	0	-0,13	171,56	
23	1,34	20,5	259	35	-0	30	-0	30	20,50	-0,18	0	-0,18	171,51	
24	1,34	21,5	249	06	-0	20	-0	20	21,50	-0,13	0	-0,13	171,56	
25	1,34	32,5	218	09	-0	25	-0	25	32,50	-0,24	0	-0,24	171,45	
26	1,34	15,5	207	18	0	15	0	15	15,50	0,07	0	0,07	171,76	
27	1,34	24,9	288	09	-0	41	-0	41	24,90	-0,30	0	-0,30	171,39	
28	1,34	10,3	21	54	1	42	1	42	10,29	0,31	0	0,31	172,00	
29	1,34	18,0	317	01	0	46	0	46	18,00	0,24	0	0,24	171,93	
30	2,00	5,8	307	46	0	40	0	40	5,80	0,07	-0,66	-0,59	171,10	
31	2,20	4,5	188	34	2	24	2	24	4,49	0,19	-0,20	-0,01	171,68	

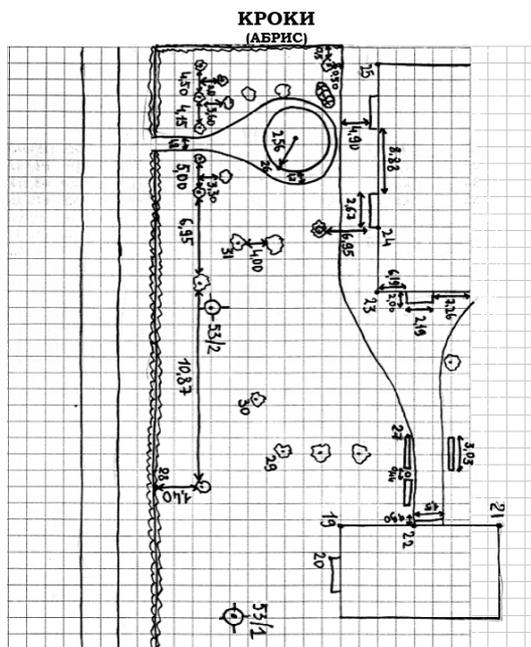


Рис. 12.2. Заполненный для станции «Журнал тахеометрической съемки» (фрагмент)

Примечание. При большом числе речных точек, приходящемся на одну станцию, следует время от времени (после каждых 10 точек) проверять ориентировку лимба (чтобы совпадало 0°00' по горизонтальному кругу при ориентировании на вешку, расположенную на следующей или предыдущей станции). Отклонение от 0°00' допускается до 5', при больших расхождениях лимба переделываются работы в пределах этих 10 точек.

12.2. Порядок работы на станции тахеометрической съемки

В процессе полевых работ бригада разбивается на две части: одна работает с инструментом, другая занята составлением и ведением абриса (кроки) и мелкими промерами. Поскольку кроки должны быть увязаны с результатом измерений, выполненных с помощью инструмента, обе группы работают в контакте между собой. Группа, занятая работой с инструментом, включает наблюдателя, работающего непосредственно с тахеометром, записывающего и двух реечников. Состав указанных групп меняется для того, чтобы каждый член бригады являлся исполнителем всех видов работ по съемке.

Перед началом работ все основные поверки теодолита должны быть пройдены. Тахеометрическую съемку следует выполнять *при круге слева* (проще вычислять углы наклона).

Последовательность работ на станции при проведении тахеометрической съемки следующая (рис. 12.3).

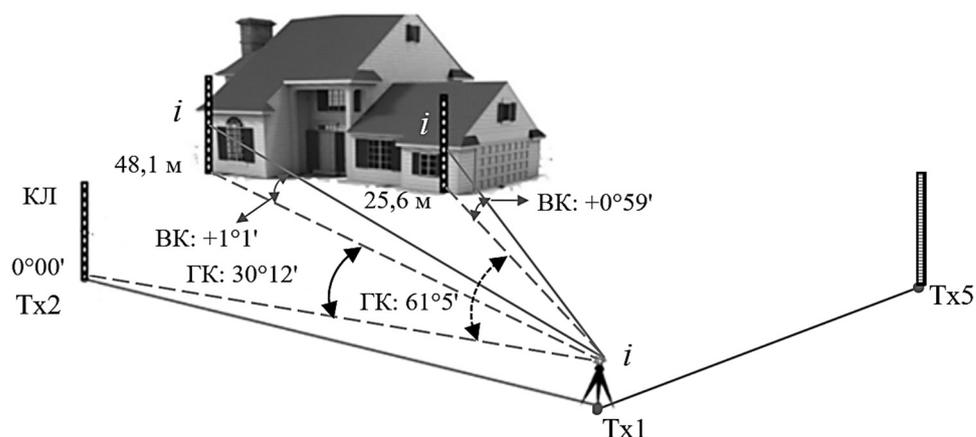


Рис. 12.3. Работы на станции при проведении тахеометрической съемки

1. Устанавливают прибор (тахеометр, теодолит) над станцией в рабочее положение (центрируют его над точкой станции, горизонтируют и открепляют зрительную трубу).

2. Измеряют высоту прибора (i) с помощью рулетки или рейки с точностью до ± 5 мм и отмечают ее на черной стороне на двух рейках яркой лентой (тесьмой, веревочкой или резинкой) и записывают в журнал, например $i = 1,34$ м (рис. 12.2) или $i = 1,35$ м (табл. 12.1). Высота прибора – это вертикальное расстояние от верха колышка до оси вращения зрительной трубы тахеометра.

3. Устанавливают вешику на вершине (точке) передней смежной станции. Данная операция проводится для выбора стороны хода, принимаемой за полярную ось.

Примечание. Если требуется измерить *горизонтальный угол и превышение* методом тригонометрического нивелирования, то нужно установить рейки на заднюю и переднюю точки станции (например, Тх5 и Тх2, рис. 12.3). При положении теодолита «круг право» (КП) наводят зрительную трубу последовательно на заднюю и переднюю рейки. Средний (горизонтальный) штрих сетки нитей зрительной трубы (рис. 11.3 на с. 137) наводят на высоту прибора i , отмеченную на рейке, и делают отсчеты по дальномеру, горизонтальному и вертикальному кругам. Результаты заносятся в журнал, например на заднюю точку – 204,57 м; $347^{\circ}47'$; $0^{\circ}5'$ соответственно (табл. 12.1), на переднюю – 117,54 м; $275^{\circ}27'$; $0^{\circ}37'$.

Далее переводят зрительную трубу через зенит, устанавливают его в положение «круг лево» (КЛ) и наводят поочередно визирную ось зрительной трубы на заднюю и переднюю рейки на соответствующих точках хода. Повторяют те же операции, что и при круге право (КП), т. е. наводят средний (горизонтальный) штрих сетки нитей зрительной трубы на высоту прибора i , отмеченную на рейке, и после этого производят отсчеты, записывая их в журнал (табл. 12.1), например на заднюю точку – 204,57 м; $167^{\circ}48'$; $-0^{\circ}5'$ соответственно, на переднюю – 117,54 м; $95^{\circ}27'$; $-0^{\circ}27'$.

4. *Определяют место нуля (МО) вертикального круга.* Место нуля – отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы и оси цилиндрического уровня при вертикальном круге. В хорошо отъюстированном теодолите (2Т30) МО равно $0^{\circ}00'$.

Для определения места нуля наводят средний (горизонтальный) штрих сетки нитей зрительной трубы (рис. 11.3) на высоту прибора i , отмеченную на рейке, или на любую точку на вертикальной поверхности, размещенную приблизительно на высоте прибора. Снимают отсчеты по вертикальному кругу при визировании зрительной трубы теодолита на эту (одну и ту же) точку при положении КП и КЛ и записывают их в журнал (рис. 12.2, табл. 12.1).

Примечание. Если выполнялось тригонометрическое нивелирование и измерялись горизонтальные углы (см. примечание к пункту 3 списка), то отсчеты по вертикальному кругу при визировании на высоту прибора i на одну и ту же точку можно использовать для

определения места нуля, например при визировании на Тх5 (табл. 12.1)
 КП: $0^{\circ}07'$, КЛ: $-0^{\circ}05'$.

Таблица 12.1

Журнал тахеометрической съемки

(приборы: теодолит 2Т30П, нивелирная рейка РНТ)

« 7 » июня 2024 г. Станция Тх1 Ориентирование на Тх2
 КП = $0^{\circ}07'$ МО = $0^{\circ}01'$ Круг Л
 КЛ = $-0^{\circ}05'$ $i =$ 1,35 м $H_{ст} =$ 173,956 м

Но- мер точки	Вы- сота наве- дения V	Даль- номер D , м	К р у г	Отсчеты по кругу		Угол нак- лона $\pm\alpha$	Горизон- тальное проложе- ние d , м	Превышение, м			Отмет- ки съе- мочных пикетов, $H_{сп}$, м	Горизон- тальные углы β
				гори- зонталь- ному (ГК)	верти- каль- ному (ВК)			$\pm h'$	$i - V$	$\pm h =$ $= h' +$ $+ i - V$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тх5	1,35	204,57	П	$347^{\circ}47'$	$0^{\circ}07'$	—	—	—	—	—	—	
Тх2	—/—	117,54	П	$275^{\circ}27'$	$0^{\circ}29'$	—	—	—	—	—	—	$\beta' = 72^{\circ}20'$
Тх5	—/—	204,57	Л	$167^{\circ}48'$	$-0^{\circ}05'$	$-0^{\circ}06'$	204,56	-1,67	0	-1,67	—	$\beta'' = 72^{\circ}21'$
Тх2	—/—	117,54	Л	$95^{\circ}27'$	$-0^{\circ}27'$	$-0^{\circ}28'$	117,54	-0,21	0	-0,21	—	$\beta'' = 72^{\circ}20,5'$
1	1,35	63,1	Л	$38^{\circ}36'$	$-1^{\circ}14'$	$-1^{\circ}15'$	63,07	-1,38	0	-1,38	172,58	Дерево
2	—/—	169,9	Л	$45^{\circ}14'$	$0^{\circ}19'$	$0^{\circ}18'$	169,90	0,89	0	0,89	174,85	Люк
3	—/—	149,3	Л	$59^{\circ}04'$	$0^{\circ}21'$	$0^{\circ}20'$	149,29	0,87	0	0,87	174,83	Угол поля
4	—/—	101,5	Л	$104^{\circ}30'$	$-1^{\circ}45'$	$-1^{\circ}46'$	101,40	-3,13	0	-3,13	170,83	Тропинка
5	—/—	135,0	Л	$119^{\circ}30'$	$-1^{\circ}46'$	$-1^{\circ}47'$	134,87	-4,20	0	-4,20	169,76	Рельеф
6	—/—	93,8	Л	$210^{\circ}20'$	$-1^{\circ}44'$	$-1^{\circ}45'$	93,71	-2,86	0	-2,86	171,10	Поворот
7	2,00	46,4	Л	$226^{\circ}20'$	$0^{\circ}01'$	$0^{\circ}00'$	46,40	0,46	-0,65	-0,19	173,77	Угол леса
8	1,35	91,5	Л	$233^{\circ}30'$	$-0^{\circ}01'$	$-0^{\circ}02'$	91,50	-0,05	0	-0,05	173,91	ЛЭП

5. Совмещают нули на горизонтальном круге при КЛ теодолита-тахеометра (ориентирование). Ориентирование заключается в том, что ноль лимба располагают по направлению на переднюю (или заднюю) точку хода, т. е. выбирают соответствующее направление полярной оси.

Это значит, в горизонтальном круге *слева* размещают лимб теодолита, установленного на станции, так, чтобы при визировании на вешку отсчет по лимбу был равен $0^{\circ}00'$. Для этого отпускают закрепляющий кривой винт алидады и вращают ее, т. е. поворачивают сам теодолит по часовой или против часовой стрелки, глядя в окуляр микроскопа, пока не увидят, что отсчет по лимбу совмещен с 0° по горизонтальному кругу (при этом стараясь совместить точно с $0^{\circ}00'$). С помощью наводящего винта алидады устанавливают точный отсчет, равный $0^{\circ}00'$ по горизонтальному кругу при одновременном визировании на вешку, и зажимают алидаду *косым* закрепительным винтом.

Важно! В процессе съемки *нельзя* откручивать *косой* закрепительный винт алидады, иначе произойдет сбой полярной оси съемки.

б. Составляют абрис (кроки) местности. Намечают все речные точки (контурные и высотные), наносят станцию, линию ориентирования, контуры объектов, характерные линии рельефа и соединяют стрелками точки, между которыми будет производиться интерполяция при построении горизонталей (рис. 12.1). Абрис (кроки) рисуют в журнале (рис. 12.2) или на отдельном листе. Можно провести рекогносцировку и нарисовать общий абрис (рис. 12.4) для всех станций или для нескольких (при этом стоит указывать на абрисе или в примечании (табл. 12.1) названия точек – дерево, куст, или обозначать их условными знаками).

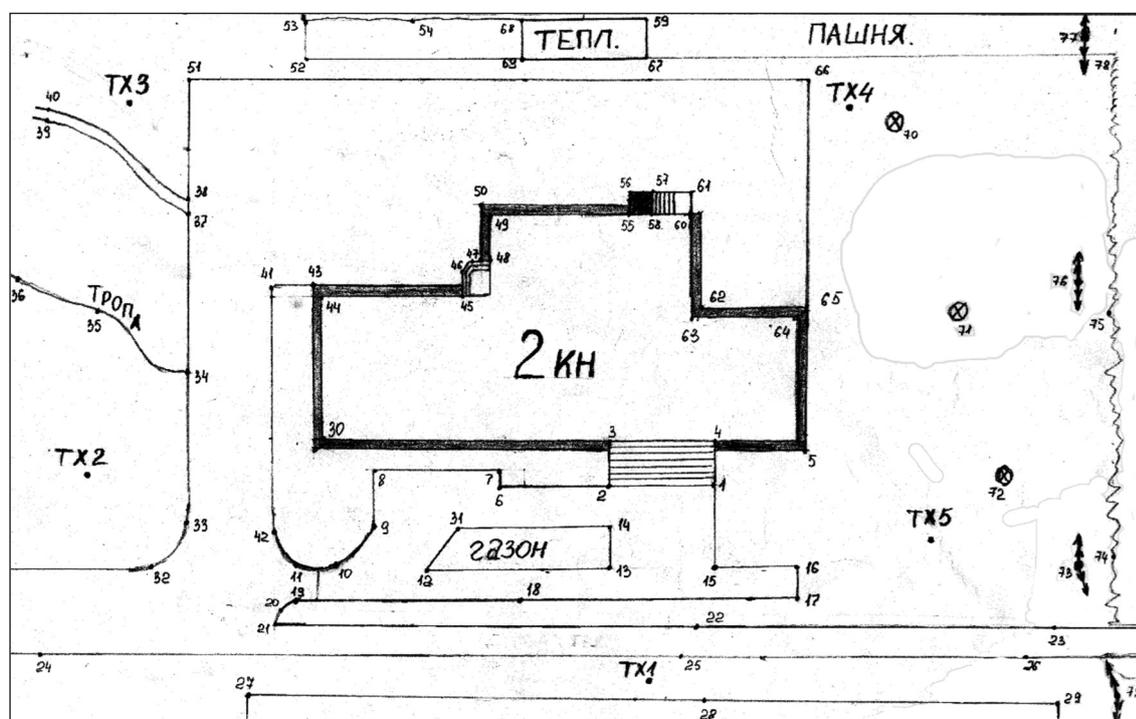


Рис. 12.4. Абрис тахеометрической съемки для нескольких станций (пример)

7. После этого приступают к съемке ситуации и рельефа. Все измерения по речным точкам выполняются **при положении «круг влево»**:

- поочередно посылают реечников на характерные точки контуров и рельефа, отмеченные на абрисе (кроки), где они ставят рейку;
- поочередно наводят перекрестие сетки нитей визирной трубы (рис. 12.5) на высоту прибора i на каждой рейке (резинку или веревку) и снимают отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругу – эти данные заносятся в журнал (рис. 12.2, табл. 12.1);

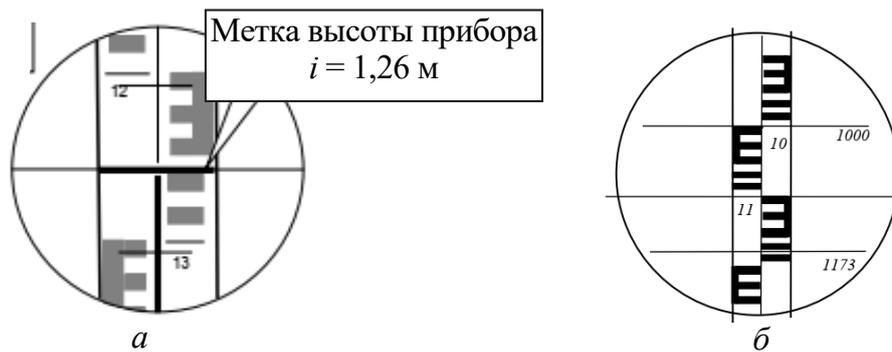


Рис. 12.5. Наведение на рейку:

а – на высоту прибора ($i = 1,26 \text{ м}$); *б* – на верхний дальномерный штрих (1000 мм)

– измеряют расстояние по дальномеру (рис. 12.2, табл. 12.1) и заносят его в тахеометрический журнал. Отсчеты по дальномеру проще снимать по черной стороне рейки. Для упрощения их снятия верхний дальномерный штрих совмещают с делением шкалы 10 дм, т. е. 100,0 см (рис. 11.3, б (с. 137), 12.5), при этом отсчет по нижнему дальномерному штриху будет 117,3 см. При коэффициенте дальномера $K = 100$ расстояние по дальномеру составляет: $(117,3 - 100) \cdot 100 = 1730 \text{ см} = 17,3 \text{ м}$.

Примечание. В виде исключения в графу «Дальномер» (рис. 12.2, табл. 12.1) можно записывать просто отсчеты по нижнему дальномерному штриху, например 1173 мм (рис. 12.5), а расчеты расстояний выполнить потом в камеральных условиях.

При невозможности визирования на высоту прибора, отмеченную на рейке (например, из-за густой растительности), можно визировать на любую высоту на рейке (например, на 20 дм), называемую высотой наведения V . Но при этом данная высота наведения заносится в журнал (рис. 12.2, табл. 12.1);

– после каждых 10 измерений (и по окончании измерений) по реечным точкам на станции проверяют ориентирование прибора на вешку. Для этого зрительную трубу прибора вновь наводят на заднюю точку хода, проверяют ориентирование лимба прибора (отсчет $0^\circ 00'$) по горизонтальному кругу. Если отсчет отличается от начального значения более чем на $5'$, съемку на этой станции переделывают. Для контроля на каждой станции измеряют несколько пикетов, уже снятых со смежной станции.

8. *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 или шариковой ручкой. Ошибочная запись зачеркивается, правильное значение подписывается сверху.



ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ. СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА

13.1. Вычислительная обработка журнала тахеометрической съемки

Вычислительная обработка журнала тахеометрической съемки осуществляется в следующей последовательности: вычисление горизонтальных углов между сторонами опорного теодолитного хода (при их измерении), места нуля вертикального круга МО, углов наклона линии визирования v , превышений h и горизонтальных проложений d , отметок съемочных пикетов.

Вычисление горизонтальных углов (если они не измерялись в процессе отдельной теодолитной съемки). В столбце 5 журнала (табл. 12.1 на с. 144) приведены значения отсчетов по горизонтальному кругу для направлений на задний и передний по ходу пункты съемочного обоснования. Например, при установке теодолита над пунктом Тх1 при визировании на заднюю точку Тх5 при положении вертикального круга КП (первая строка на станции Тх1) отсчет по горизонтальному кругу $Z = 347^{\circ}47'$, а при визировании на переднюю точку Тх2 отсчет $\Pi = 275^{\circ}27'$. Горизонтальный угол вычисляется: $\beta = Z - \Pi$.

При полуприеме КП $\beta'_1 = 72^{\circ}20'$ (результат записывается в столбце 13 табл. 12.1).

При втором полуприеме, выполняемом при положении КЛ, получены отсчеты $Z = 167^{\circ}48'$ и $\Pi = 95^{\circ}27'$. Следовательно, второе значение угла на станции Тх1 $\beta''_1 = 72^{\circ}21'$ (результат записывается в столбце 13 табл. 12.1).

При измерении горизонтальных углов между сторонами плано-съемочного обоснования при тахеометрической съемке требования к точности вычисления углов такие же, как и при проведении теодолитной съемки (допустимое расхождение между измеренными значениями горизонтальных углов не должно составлять более $2'$).

Расхождение между полуприемами на станции Тх1 составляет $\Delta = \beta'_1 - \beta''_1 = 1'$ (допустимое расхождение выполняется), можно рассчитать среднее значение горизонтального угла как среднеарифметическое между двумя полуприемами: $\beta_1 = 77^\circ 20,5'$, оно принимается за результат измерения и его записывают в столбце 13 табл. 12.1.

Аналогично вычисляются углы β_2 , β_3 и β_i в вершинах планово-съёмочного обоснования.

Вычисление углов наклона. Для каждой станции после центрирования и горизонтирования прибора вычисляют место нуля вертикального круга. Формулы для вычисления МО зависят от угловой длины рабочей шкалы вертикального круга теодолита. Угловая шкала на вертикальном круге может быть круговой – деления подписаны от 0 до 360° (теодолит Т30), или секторной – деления от 0 до $+90^\circ$ и от 0 до -90° (теодолиты 2Т30, 2Т30П).

Для теодолита 2Т30 (2Т30П) МО вычисляют по формуле

$$MO = \frac{Л + П}{2}. \quad (13.1)$$

Для теодолита Т30 (4Т30) МО вычисляют по формуле

$$MO = \frac{Л + П - 180^\circ (540^\circ)}{2}. \quad (13.2)$$

Значение МО записывают в подзаголовке станции.

Угол наклона (v) вычисляют как разницу между отсчетом по вертикальному кругу (Л) и местом нуля (МО):

$$v = Л - MO. \quad (13.3)$$

Вычисленное значение угла наклона указывается в столбце 7 табл. 12.1 со знаком «+» или «-».

Вычисление превышений и горизонтальных проложений.

Если наклонное расстояние D измерено нитяным дальномером, как в нашем случае, то горизонтальное проложение d и превышения h' вычисляют по формулам $d = D \cdot \cos^2 v$; $h' = d \cdot \operatorname{tg} v$ или $h' = 1/2 \cdot D \cdot \sin(2 \cdot v)$, где d – горизонтальное проложение, м; D – наклонное расстояние от станции до рейки, определенное по нитяному дальномеру, м; v – угол наклона, град.

Превышение с учетом высоты наведения будет равно

$$h = h' + (i - V), \quad (13.4)$$

где i – высота прибора на станции, м; V – высота наведения, т. е. отсчет по рейке, на которую наводился центр сетки нитей зрительной

трубы теодолита для того, чтобы снять отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам, м.

Примечание. Если угол наклона $\nu < 1^\circ 30'$, то горизонтальное проложение принимают равным дальномерному расстоянию, т. е. $d = D$.

Вычисления можно выполнять при помощи инженерного калькулятора или персонального компьютера.

Результаты вычислений d , h' , h округляют до 0,01 м.

Значение d записывается в журнале тахеометрической съемки (табл. 12.1) в столбце 8, величина h' – в столбце 9, разность $i - V$ (высота прибора минус высота наведения) – в столбце 10, превышение h – в столбце 11.

Примечание. Следует помнить, что если угол наклона имеет отрицательный знак, то превышение тоже будет со знаком «минус».

Вычисление отметок съемочных пикетов. Найденные отметки пунктов съемочного обоснования (станций) $H_{ст}$ (см. табл. 11.2 на с. 132 или табл. 11.3 на с. 135) необходимо занести в журнал тахеометрической съемки в отведенные для этого строки « $H_{ст} = \underline{\hspace{2cm}}$ », а отметки $H_{сп}$ съемочных пикетов записать в столбце 12 (табл. 12.1), вычислив их по формуле

$$H_{сп\ i} = H_{ст} + h_i, \quad (13.5)$$

где $H_{ст}$ – отметка данной станции, м; h_i – полученное с этой станции превышение на съемочный пикет с номером i , записанное в столбце 11 журнала тахеометрической съемки (табл. 12.1).

13.2. Нанесение съемочных пикетов и прочерчивание контуров объектов местности

Съемочные пикетные точки наносят на план с помощью геодезического транспорта ТГ-1, циркуля-измерителя, масштабной линейки ЛМП-1 или тахеографа по их полярным координатам и высотным отметкам, записанным в журнале тахеометрической съемки (табл. 12.1):

- отсчеты по горизонтальному кругу (столбец 5);
- горизонтальные проложения d (столбец 8);
- абсолютные отметки H (столбец 12, если они рассчитаны).

Для примера (см. табл. 12.1) для станции Тх1 полярная ось представлена линией Тх1–Тх2. Это начальное направление указано также в журнале тахеометрической съемки для станции Тх1 записью «Ориентирование на Тх2» и отсчетом горизонтального круга, равным $0^\circ 00'$ (см. табл. 12.1, столбец 5), полученным при визировании на пункт Тх2 в положении КЛ.

Транспортир ТГ-1 размещают на плане (рис. 13.1, а), совместив его центр с точкой Тх1, а нулевой штрих градусных делений направляют в сторону начала отсчета Тх2 горизонтальных (полярных) углов по прочерченному направлению Тх1–Тх2. От данной линии ориентирования по ходу часовой стрелки с помощью транспортира откладывают горизонтальный угол на пикет 1 ($38^{\circ}36'$), который отмечают засечкой.

Вдоль полученного направления линейкой фиксируется горизонтальное проложение d в масштабе плана (при $1 : 500$ длине $63,1$ м на местности соответствуют отрезок, равный $63,1 \cdot 1 / 5 = 12,52$ см).

Положение пикета фиксируют точкой с номером пикета и его отметкой H (столбец 12 в табл. 12.1), которую записывают справа от номера пикета (с точностью до $0,01$ м).

Примечание. Можно, не отнимая транспортир, сначала слабыми штрихами по очереди отметить направления на все пикетные точки (рис. 13.1, б), записанные в столбце 5 табл. 12.1, подписывая номера этих направлений. Затем по данным направлениям от точки т 1 отложить в масштабе плана горизонтальные проложения, записанные в столбце 8 журнала тахеометрической съемки (табл. 12.1). Рядом с новыми полученными пикетными точками подписать их отметки (столбец 12 в табл. 12.1). Старые ненужные штрихи стереть, чтобы не путаться в процессе нанесения.

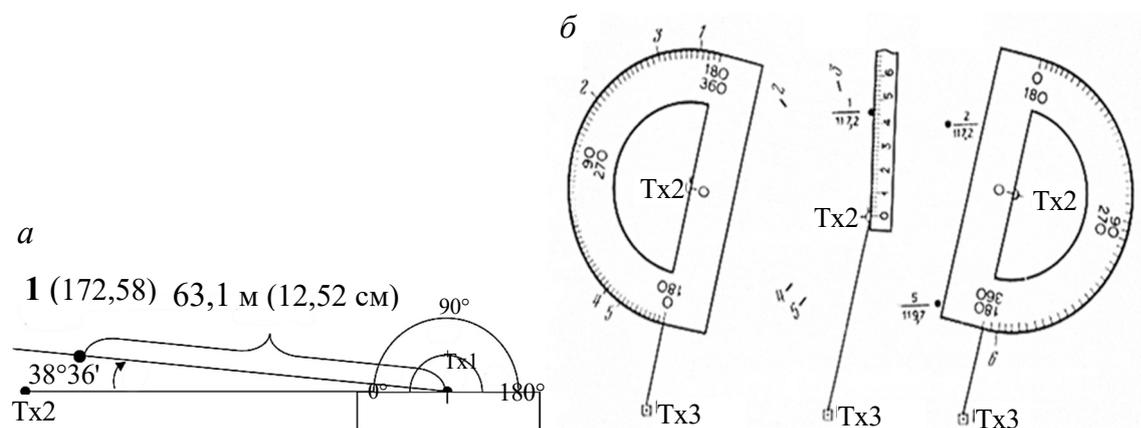


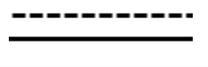
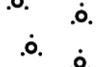
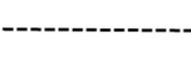
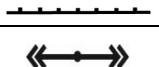
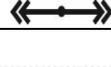
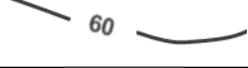
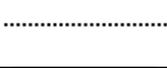
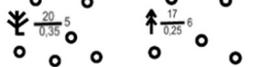
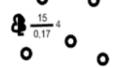
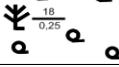
Рис. 13.1. Нанесение точек транспортиром ТГ-1

Аналогичным образом выполняют работы по нанесению пикетов на остальных станциях тахеометрической съемки. Большинство нанесенных пикетов используют для изображения рельефа (т. е. для построения горизонталей), другие – одновременно и для решения

этой задачи, и для изображения ситуации на плане. Поэтому пользуясь абрисами тахеометрической съемки, сначала наносят на план контуры объектов местности, сверяясь также с примечаниями в журнале тахеометрической съемки (табл. 28). Затем соединяют пикеты, принадлежащие одинаковым контурам местности (тропинки, здания, реки, дороги, леса, луга и т. п.). При этом объекты местности и их контуры на плане отображают установленными для них условными знаками (табл. 13.1).

Таблица 13.1

Условные знаки топографических планов, карт масштаба 1 : 500, генпланов

Название и характеристика топографического объекта	Условный знак топографического объекта	Название и характеристика топографического объекта	Условный знак топографического объекта
Пункт триангуляции	 Заря $\frac{138,05}{138,6}$	Отметка вершины холма, земли	 139,2
Пашня		Сад фруктовый	
Луг		Луг заболоченный	
Газон		Здание	
Грунтовая дорога (проселочная)		Грунтовая дорога улучшенная	
Болото проходимое травяное		Кустарник	
Асфальтированная дорога		Тропа	
Забор металлический		Забор деревянный	
Люк	 Л ; 	ЛЭП	
Горизонталь		Граница леса	
Лес саженьный (дуб)		Лес горелый	
Лес хвойный (сосна и ель)		Лес лиственный (береза)	
Вырубка с порослью		Лес хвойный редкий (сосна)	
Хвойное дерево		Лиственное дерево	

13.3. Изображение рельефа

Под рельефом местности – важнейшим элементом содержания топографических карт – подразумевается совокупность неровностей земной поверхности. На современных картах рельеф изображается горизонталями. *Горизонталь* – это кривая линия, соединяющая точки с одинаковыми высотными отметками и имеющая следующие свойства:

- горизонтали – замкнутые кривые;
- горизонтали никогда не пересекаются;
- чем меньше расстояние между горизонталями на карте, тем круче выражены склоны у возвышенностей и понижений на местности.

Расстояние между горизонталями по отвесной линии называется *высотой сечения рельефа* (h_c), оно подписывается на картах под линейным масштабом. При слабовыраженном рельефе или для более точного его изображения горизонтали могут проводить через 0,5 м. Существует два способа построения горизонталей (интерполирования высот) – графический и аналитический.

При *графическом способе* для облегчения работы необходимо вычертить палетку из параллельных линий, проведенных на листе прозрачной бумаги (кальки) через 1 см (рис. 13.2). Каждую линию подписывают отметками горизонталей снизу вверх. Данная оцифровка палетки проводится по значениям высотных отметок пикетов (см. табл. 12.1, столбец 12) и станций по всем съемочным пикетам на всех вершинах хода.

Из них выбирается *наименьшая* отметка (например, в табл. 12.1 это высота точки 5 $H_5 = 169,76$ м), значение которой *округляется*

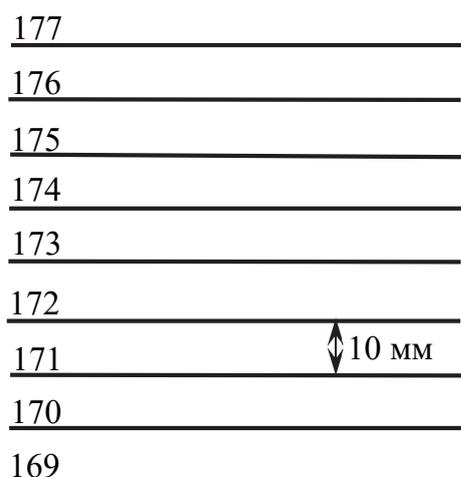


Рис. 13.2. Палетка из параллельных линий

вниз до числа, кратного высоте сечения рельефа, т. е. оно должно делиться на 1 м без остатка ($h_c = 1$ м). Для нашего примера это 169,0 м. Затем вверх, через 1 м вписываются остальные значения горизонталей до того момента, пока число не станет больше максимальной отметки по всем пикетам и станциям тахеометрической съемки (чтобы все высоты помещались между линиями).

Отмечают одну из точек пикетов (рис. 13.3) на палетке (например,

точка 7 с отметкой 173,3 м, см. табл. 12.1), помня, что в 1 см – 1 м (1 мм – 0,1 м). Затем смотрят предположительное размещение на палетке второй точки (например, точка 6 с отметкой 171,1 м, см. табл. 12.1).

Удерживая первую точку (№ 7) острым предметом (иголка циркуля-измерителя, например), вращают палетку вокруг этой точки (рис. 13.3) до тех пор, пока конечная точка линии не попадет на линию палетки, соответствующую высоте второй точки (№ 6).

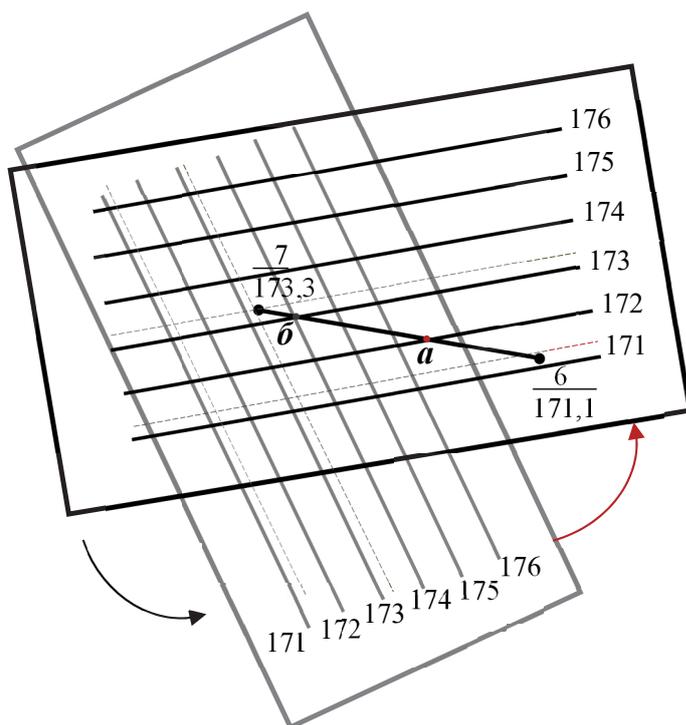


Рис. 13.3. Пример интерполяции высот с помощью палетки

Закрепляют палетку в этом положении, и точки пересечения линии интерполирования горизонталей с линией, соединяющей речные точки, кратные сечению рельефа, прокалывают измерителем на эту линию (рис. 13.3) – точки *a*, *б*.

Убирают палетку и на отметках циркуля-измерителя на плане ставят штрихи карандашом и подписывают значения соответствующих горизонталей (в данном примере 172,0 и 173,0 м соответственно), которые и будут следами горизонталей.

Для лучшего интерполирования карандашом проводят условные структурные линии – стрелки (рис. 13.4, *a*) по скатам холмов, и на данных стрелках между речными точками повторяют интерполяцию высот. После интерполяции по нескольким линиям следы

горизонталей точки с одноименными высотами соединяют гладкой линией (рис. 13.4, б).

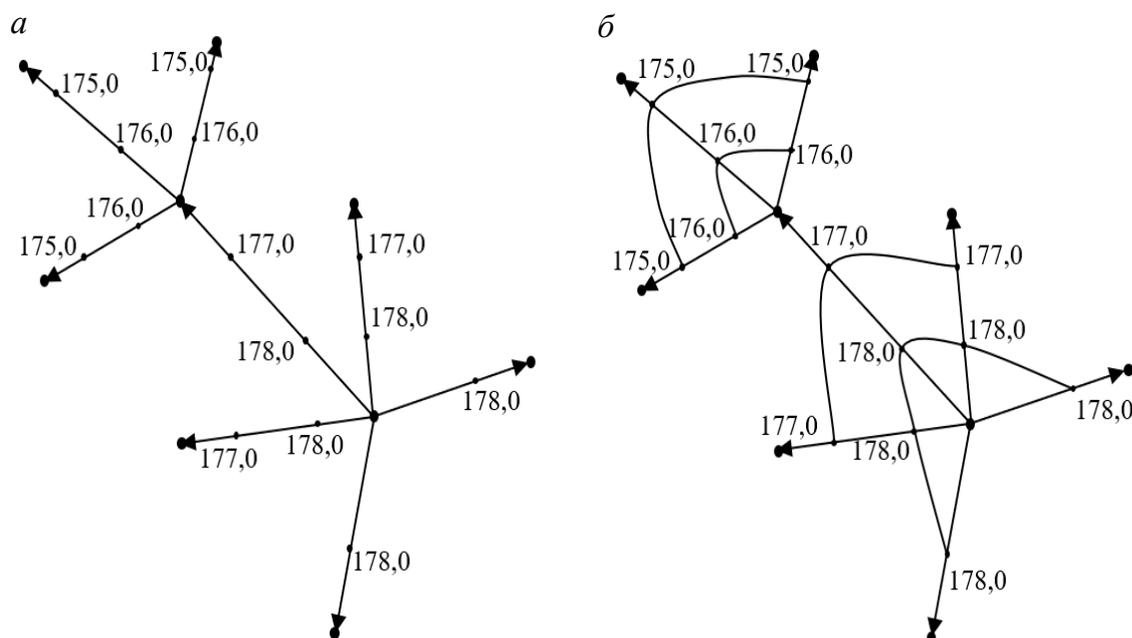


Рис. 13.4. Последовательность интерполяции на основе структурных линий

Аналитический способ заключается в том, что положение горизонталей на линиях, соединяющих точки с известными отметками, находится путем математических расчетов. Например, имеется линия 6–7 с известными абсолютными отметками (рис. 13.3). Между точками 6 и 7 с отметками 171,1 и 173,3 через 1 м можно провести 2 горизонтали (172,0 и 173,0). Расстояние между этими точками в масштабе 1 : 500 равно 8 см, или 80 мм (при его отсутствии можно длину измерить на плане). Определим превышение между точками 6 и 7 от меньшей по высоте к большей: $h = H_7 - H_6 = 173,3 - 171,1 = 2,2$ м. Разделив полученное превышение на расстояние в миллиметрах, получаем величину уклона $i = 2,2 / 80 = 0,0275$, равную изменению превышения на 1 мм расстояния на плане.

Ближайшей горизонталью к точке 6 является горизонталь 172,0. Определяем превышение между ней и отметкой точки 6: $h_{172,0} = 172,0 - H_6 = 172,0 - 171,1 = 0,9$ м. Разделив $h_{172,0}$ на i , получаем расстояние от точки 6 до горизонтали 172,0 в миллиметрах: $d_{172,0} = h_{172,0} / i = 0,9 / 0,0275 = 32,7$ мм. Откладываем рассчитанное расстояние от точки 6 и получаем расположение горизонтали 172,0 на линии 6–7.

Аналогичным образом определяем положение горизонтали 173,0: $h_{173,0} = 173,0 - H_6 = 173,0 - 171,1 = 1,9$ м; $d_{173,0} = h_{173,0} / i = 1,9 / 0,0275 = 69,1$ мм. Откладываем рассчитанное расстояние от точки 6 и получаем положение горизонтали 172,0 на линии 6–7. В результате линия 6–7 будет интерполирована отметками высот горизонталей аналитическим методом.

В общем случае расстояние l_i до любой горизонтали от точки с минимальной высотой может быть определено из зависимости

$$l_i = \frac{H_i - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}} \cdot l, \quad (13.6)$$

где H_i – высота определяемой горизонтали, м; H_{\min} – высота точки с минимальной высотой, от которой необходимо отложить определяемое расстояние, м; H_{\max} – высота точки с максимальной высотой, в направлении которой откладывается определяемое расстояние, м; l – расстояние между точками, мм.

Полученное расстояние l_1 , а затем l_2 в миллиметрах откладывается от точки 6 в направлении точки 7. Таким образом поочередно определяется положение 1-й и 2-й горизонталей.

Примечание. Чтобы не путаться, лучше начинать вычисления от точки с меньшей высотной отметкой и откладывать расстояния, соответственно, от этой точки. Предпочтительно на начальном этапе обучения и в особенности при значительном количестве горизонталей интерполирование проводить при помощи параллельной палетки.

Существует также аналитический способ интерполирования при помощи *треугольника и линейки* с миллиметровой шкалой. В нем градуируют деления линейки в зависимости от сечения рельефа. Например, для высоты сечения в 1 м можно принять 1 мм шкалы – 0,1 м сечения (тогда 1 см шкалы составит 1 м сечения и т. д.).

Приставляют линейку и угольник к точке с минимальным значением с учетом выполненной градуировки. Двигают угольник вдоль линейки с поворотом линейки вокруг начальной точки до тех пор, пока сторона угольника с прямым углом не попадет на вторую точку линии интерполяции (рис. 13.5). Двигая угольник по линейке через сантиметр (только при градуировке 1 мм – 0,1 м), отмечают стороной угольника на линии положения точек, соответствующих горизонталям, кратным метру.

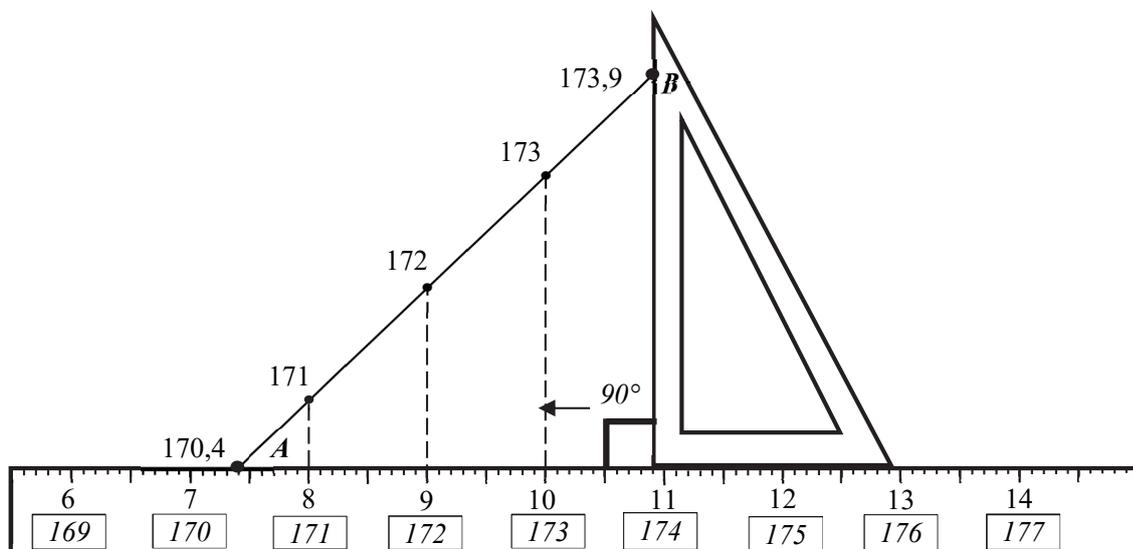


Рис. 13.5. Пример интерполяции с помощью линейки и угольника

Например, надо провести интерполяцию горизонталей между начальной точкой A (рис. 13.5), которая имеет высоту 170,4 м, и конечной точкой B с высотой 173,9 м. Учитывая, что для линейки 1 мм соответствует 0,1 м высоты (1 см – 1 м высоты), принимают, что до 7 см линейки будет 170 м высоты (тогда 8 см – 171 м, 9 см – 172 м, ..., 14 см – 177 м высоты и т. д.). Прикладывают линейку делением 7,4 см (высота 170,4 м) к точке A , а угольник (обязательно под прямым углом в сторону точки A) – к делению 10,9 см (высота 170,9 м). Вращают одновременно линейку и угольник вокруг точки A до тех пор, пока ребро прямого угла не попадет на точку B . Сдвигают вдоль линейки угольник на деление 10 см и отмечают на линии AB точку, соответствующую горизонтали 173 м, деление 9 см – 172 м и деление 8 см – 171 м.

13.4. Оформление топографического плана

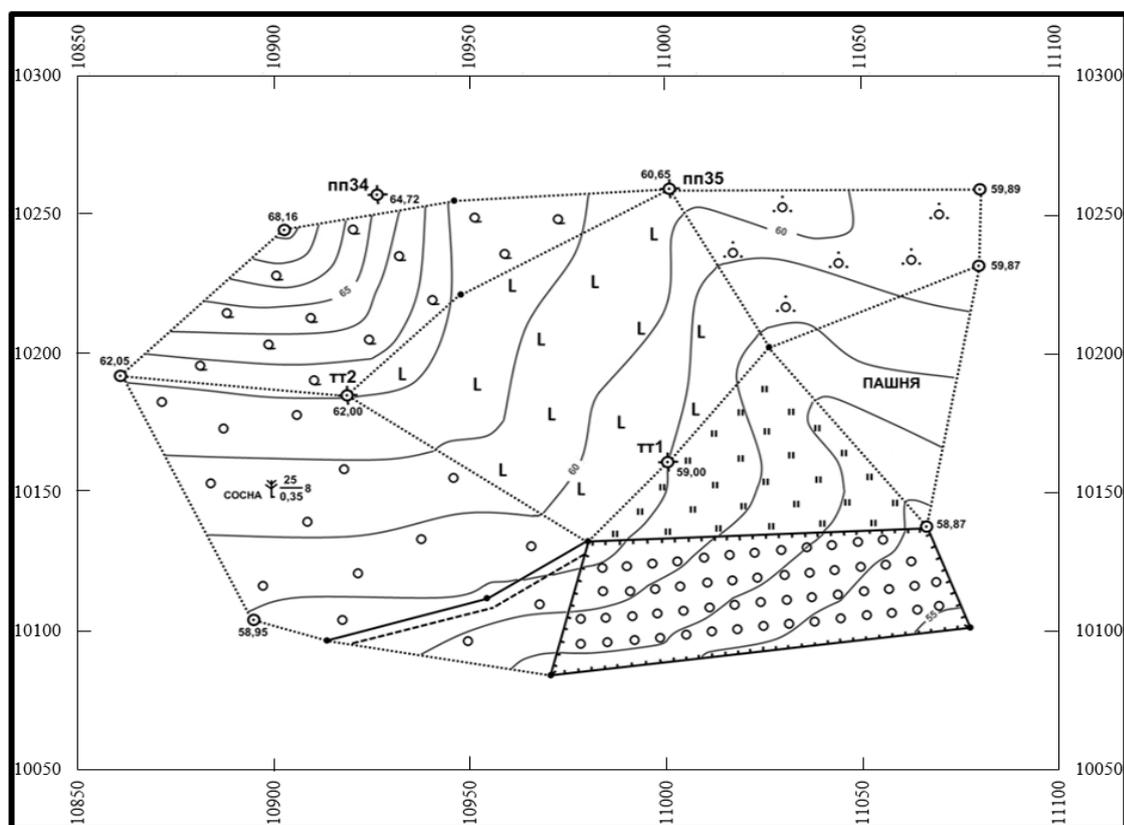
Преподаватель проверяет составленный карандашом план, который после исправлений вычерчивается в соответствии с условными топографическими знаками. Заканчивают топографический план нанесением на него зарамочного оформления, которое зависит от выбранного масштаба плана. Общее оформление рамок такое же, как и при теодолитной съемке (см. рис. 7.10 на с. 88).

Убирают линии теодолитного хода, оставляя лишь его вершины. Пикеты с высотными отметками почти все удаляют за исключением некоторых, расположенных по периметру. Отметки подписывают черным цветом только для пунктов съемочного обоснования и характерных точек местности (вершин холмов, низких точек лощин, седловин).

Коричневым цветом вычерчивают горизонтали и цифровые значения их высоты (рис. 13.6). Каждую пятую горизонталь утолщают до 0,3 мм при толщине остальных горизонталей 0,1–0,15 мм. Все контуры и рельеф, изображаемые на плане, вычерчивают тушью или рапидографом. При этом необходимо выдержать очертания и размеры согласно условным знакам, приведенным для масштаба 1 : 500.

В разрывах некоторых горизонталей в 4–5 местах плана, удобных для чтения, подписывают их отметки, кратные 5 м, а основание цифр располагают в сторону понижения рельефа.

ПЛАН УЧАСТКА (тахеометрическая съемка 2024 г.)



ЛХФ БГТУ 1:M=1:500 Выполнила бригада 11
 В 1 см 5 м
 Высота сечения рельефа (hc) 1 м

Рис. 13.6. Пример оформления топографического плана (тахеометрическая съемка)

Горизонталы обрывают при пересечении с искусственными сооружениями (спланированные площадки, строения, площади, дороги и т. д.).

Бергштрихи длиной не более 1 мм направляют также в сторону понижения рельефа. Всего вычерчивают 8–10 бергштрихов для выделения вершин возвышенных мест и показа наиболее низких мест в лощинах.



ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПО КВАДРАТАМ

При нивелировании поверхности отметки ее точек определяют геометрическим нивелированием. Поэтому данный вид топографической съемки используют на открытой местности со слабовыраженным рельефом. В составе геодезических изысканий может предусматриваться топографическая съемка небольшого открытого от зарослей участка местности со спокойным рельефом для строительства цеха, пилорамы и т. д. Такую съемку можно выполнить *нивелированием по квадратам*. Нивелирование производится по сетке квадратов (со сторонами 5×5, 10×10 м и т. п.), разбиваемой в пределах снимаемой площади. С этой целью выбирается площадка с пологим рельефом, прилегающая к стороне теодолитного хода, вершины которого считаются привязочными.

Если предполагаемая сетка квадратов будет находиться в стороне от теодолитного или тахеометрического ходов, то в этом случае от точки с известной абсолютной отметкой прокладывается замкнутый нивелирный ход, одной из вершин которого является или вершина квадрата, или новая станция для нивелирования.

Если высота рейки больше перепада высот между точками, то нивелирование производится с одной станции. В противном случае площадка делится на несколько частей, и нивелирование промежуточных точек осуществляется с нескольких станций.

14.1. Геодезические полевые работы

Разбивку сетки квадратов производит совместно вся группа на одном участке, но при этом каждая бригада (необходимо для работ как минимум 4 человека) выполняет разбивку своей линии. Для этого бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: нивелир со штативом, две нивелирные рейки, теодолит (буссоль), отвес с противовесом, 10–20 сторожков, маркер, топор, рулетку или землемерную ленту, вешки, тетрадь-дневник практики, письменные принадлежности.

Нивелирование по квадратам выполняют в следующей последовательности.

1. *Осмотр участка* вместе с преподавателем, выбор начальной точки – нижнего левого угла площадки (рис. 14.1). Общее количество квадратов должно быть 25–35 (пример приведен для 12 квадратов).

2. *Разбивка сетки квадратов*. На данной точке в землю забивается сторожок, на котором маркером пишется номер точки 0/0, где числитель – это значение в метрах от данной точки по горизонтали, а знаменатель – по вертикали. От данной точки в горизонтальном направлении (ось X) растягивают рулетку и в ее створе откладывают отрезки по 10 м, закрепляя сторожками, на которых указываются их номера: 10/0, 20/0, 30/0 и т. д. На последнюю точку за сторожком устанавливается вешка.

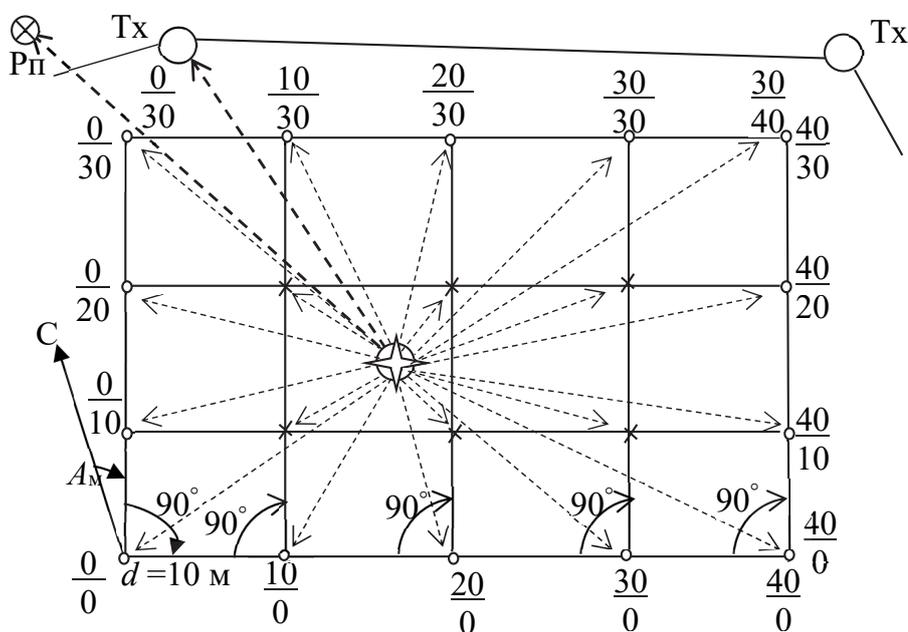


Рис. 14.1. Порядок работ при нивелировании по квадратам

Прямые углы задаются теодолитом (буссолью). Для этого бригада № 1 устанавливает теодолит в точке 0/0 (над сторожкой), приводит его в рабочее положение. На лимбе находят отсчет $0^{\circ}00'$ (как при тахеометрической съемке), отжав косой закрепительный винт, визируют на вешку (т. е. ориентируют лимб по горизонтальной линии) и затем зажимают этот винт. Открепляют алидаду и ее вращением на лимбе устанавливают отсчет 90° (или 270° в зависимости от круга: КП или КЛ).

Перпендикулярное (вертикальное) направление (ось Y) фиксируют второй вешкой. Для этого студент с вешкой идет по направлению луча визирования и, попав в поле зрения зрительной трубы, устанавливает

вешку так, чтобы она совместилась с вертикальной нитью сетки теодолита (для контроля построение угла 90° повторяют при другом положении вертикального круга – точки должны совпасть). В створе созданной линии с помощью рулетки откладывают 10-метровые отрезки и фиксируют их, вбивая в землю сторожки и подписывая их названия: 0/10, 0/20, 0/30 и т. д.

В это время бригада № 2 устанавливает теодолит на точке 10/0 (над сторожкой), приводит прибор в рабочее положение и повторяет действия бригады № 1 (ориентируя $0^\circ 00'$ на лимбе на вешку или на нить отвеса теодолита бригады № 1). Остальные бригады также устанавливают теодолиты на соответствующие точки – 20/0, 30/0 и т. д. и повторяют порядок работ бригад № 1 и 2.

Работы продолжаются до полной разбивки вершин квадратов.

Примечание. Перпендикулярность можно проверить, применяя рулетку и используя свойство египетского треугольника, в котором катеты и гипотенузу можно выбрать длиной 3, 4 и 5 м или же 6, 8 и 10 м, а также 12, 16 и 20 м. Правильность установки вех проверяют также и визуально: отклонение вех от прямых линий (в том числе и от диагоналей) не должно превышать 0,1 м.

3. *Журнал-схема нивелирования по квадратам* (рис. 14.2). Составляет бригадир или его помощник карандашом и линейкой на отдельном листе бумаги формата А4 (или в тетради-дневнике практики), чтобы стороны малых квадратов было удобно принять длиной 3–4 см.

4. *Ориентирование сетки квадратов.* При помощи буссоли измеряют магнитный азимут линии 0/0–0/40 сетки (или его выдает преподаватель) и записывают в журнале-схеме.

5. *Нивелирование вершин квадратов.* Нивелир устанавливают приблизительно в средней части площадки (рис. 14.1). Главное условие – с нее должны быть видны все вершины квадратов и привязочные точки (реперы или точки тахеометрического хода) и должно хватать высоты рейки (горизонтальный луч визирования не должен упираться в землю и быть выше рейки). При невозможности нивелируют с 2–3 станций, прокладывая к ним дополнительный привязочный нивелирный ход.

Вершины квадратов нивелируют как промежуточные точки. Нивелирную рейку поочередно ставят прямо на землю рядом со сторожкой на каждой вершине квадратов, берут отсчет только по ее черной стороне и записывают в журнале-схеме рядом с вершинами квадратов (рис. 14.2). Вследствие того что рейка ставится на шероховатую поверхность земли, точность снятия отсчетов снижается до целых сантиметров, например 1440.

ЖУРНАЛ-СХЕМА НИВЕЛИРОВАНИЯ ПО КВАДРАТАМ



Рп

$H_{Рп} = 173,956 \text{ м}$

$\alpha_{4 Рп} = 1974 \text{ мм}$

174,49 1440	173,73 2200	174,08 1850	174,49 0920	175,01 0920
173,05 2880	174,38 1550	174,60 1330	174,70 1230	174,88 1050
174,76 1170	175,16 0770	175,55 0380	175,73 0200	175,25 0680
175,34 0590	175,54 0390	175,79 0140	175,33 0600	174,98 0950



С

Ю

Масштаб 1:М = 1:250

Нивелиробала бригада № _____



Рис. 14.2. Пример оформления журнала-схемы нивелирования участка местности по квадратам

Важно! Нивелир *нельзя* снимать со станции, пока не будет выполнена высотная привязка к реперной точке или к точке тахеометрического хода с известной высотной отметкой.

6. *Высотная привязка сетки квадратов.* Передача исходной высоты (отметки) на станцию производится от ближайшего репера или от точки съемочного обоснования (полигона). Для этого с той же станции, где производилось нивелирование вершин, производится наведение на рейку, которая точно установлена на репере или на кольшке точки тахеометрического хода (с известной отметкой). Снимается отсчет и в журнал-схему записывается номер репера или точки съемочного обоснования с отсчетом на нее.

14.2. План участка нивелирования поверхности по квадратам

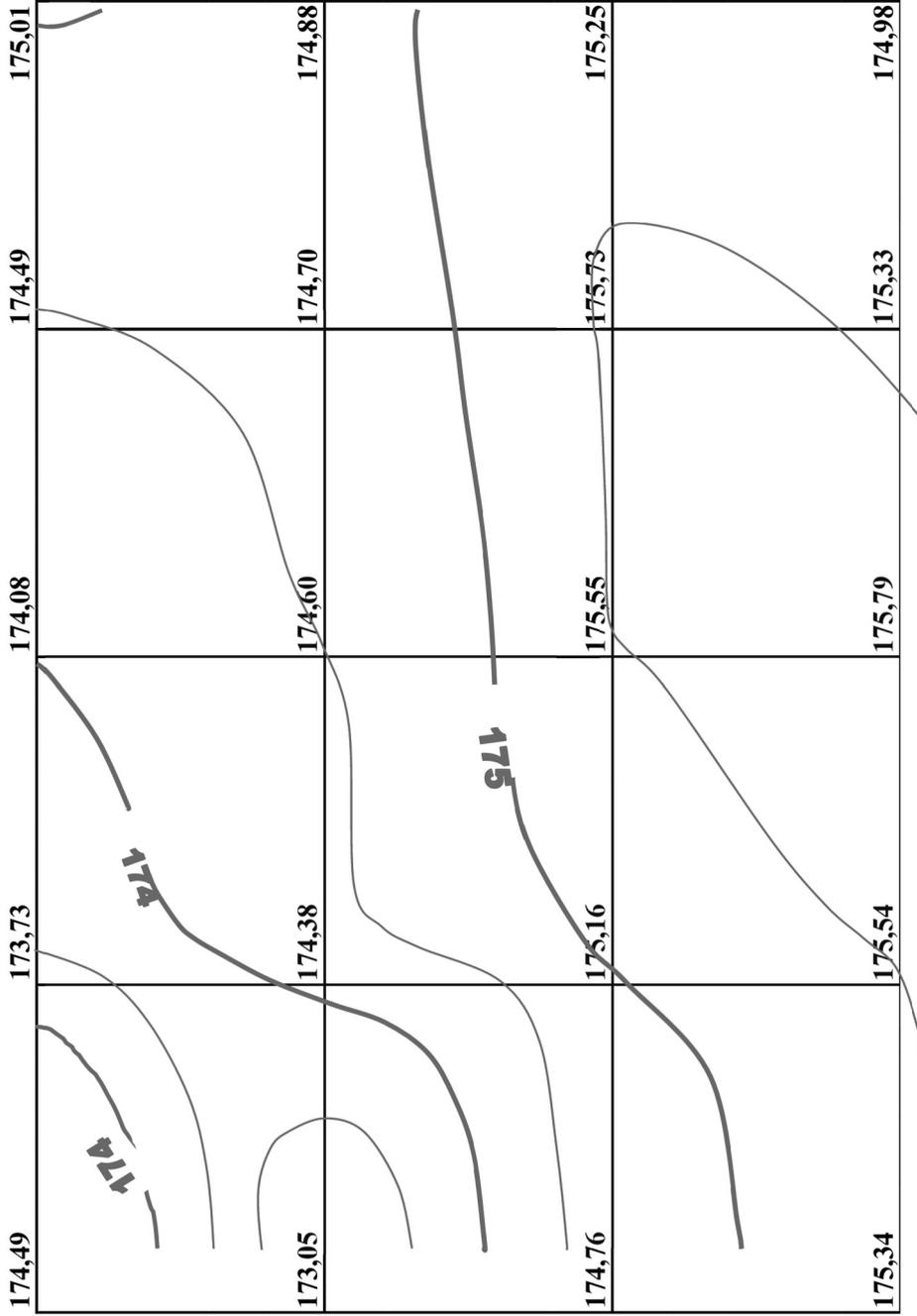
Абсолютные отметки вершин квадратов вычисляются через горизонт прибора (инструмента): $H_{РП}$ или $H_{ТХ1} = 173,956$ м, а отсчет по черной стороне рейки на него равен $a_{РП} = 1974$ мм, следовательно, $ГП = H_{РП} + a_{РП} = 173,956 + 1,974 = 175,930$ м. Каждая высотная отметка вершины H_i квадрата будет равна разности горизонта инструмента $ГП$ и отсчета по черной стороне рейки на данную точку a_i : $H_i = ГП - a_i$.

Топографический план составляют в масштабе 1 : 200 или 1 : 250 (сторона одного квадрата на плане будет равняться 5 или 4 см соответственно). На чертежной бумаге формата А3 строят сетку квадратов, около вершин которых выписывают из журнала-схемы нивелирования (рис. 14.2) отметки с округлением до 0,01 м (рис. 14.3). Расположение горизонталей на сторонах и диагоналях квадратов определяют интерполированием аналитически или графически с помощью палетки кальки (или треугольника и линейки), техника проведения горизонталей на плане описана в пункте 13.3. *При сложном рельефе* в квадратах *проводятся диагонали*, на которых потом также осуществляется интерполяция высот.

При высоте сечения рельефа $h_c = 0,5$ м параллельные линии палетки (см. рис. 13.2 на с. 152) подписывают отметками, кратными 0,5 м (при $h_c = 1$ м – кратными 1,0 м).

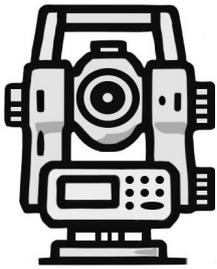
План оформляют тушью или гелевыми ручками: сеть квадратов с отметками вершин – черным цветом, а горизонтали – коричневым, при этом цифрами подписываются только те, которые кратные 1 м (в учебных целях) и верх числа при этом направлен в сторону повышения ската (такие горизонтали рисуют утолщенно). Толщина обычных горизонталей – 0,1 мм, утолщенных – 0,25 мм.

ПЛАН УЧАСТКА



Масштаб 1:200 (в 1 см 2 м) $h_c = 0,5$ м Выполнила бригада № _____

Рис. 14.3. Пример оформления топографического плана участка



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТЫ ОБЪЕКТОВ. РАЗБИВКА КРУГОВОЙ КРИВОЙ

15.1. Измерение высоты объектов геодезическим способом

Одной из распространенных задач геодезии представляется задача определения отметки высоких частей сооружения, измерения высоты здания или дерева. При этом часто возникает необходимость замера высоты, когда измерение с помощью обычных методов недоступно или нецелесообразно. В этом случае измерение высоты сооружений производится с помощью теодолита.

Для выполнения задачи каждая бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: теодолит 2Т30, штатив, отвес, ленту или рулетку, тетрадь-дневник практики. Руководитель практики указывает предмет, высоту которого должны определить (столб, дерево, здание, высота проводов ЛЭП над поверхностью земли и т. п.).

1. Устанавливают теодолит приблизительно *на одном уровне поверхности* с измеряемым объектом (рис. 15.1) на расстоянии от него не менее *двойной-тройной высоты* самого объекта (в этом случае угол наклона при наведении на верх предмета не будет превышать 35° , из-за чего будет удобно брать отсчеты по вертикальному кругу). Горизонтируют прибор и приводят его в рабочее положение над точкой *A*.

2. Измеряют расстояние d от станции до точки *A* с помощью мерной ленты, рулетки или нитяного дальномера (рис. 15.1, табл. 15.1).

3. Определяют место нуля (см. пункт 12.2, с. 143), используя формулы (13.1) или (13.2) (с. 148), и заносят данные в табл. 15.1.

4. При положении «круг лево» (КЛ) визируют на верх объекта (точка *B*) и берут отсчет по вертикальному кругу (табл. 15.1).

5. Визируют при КЛ на низ объекта (точка *C*) и берут отсчет по вертикальному кругу (табл. 15.1).

6. Вычисляют по формуле (13.3) углы наклона ν_1 и ν_2 на точки *B* и *C* соответственно.

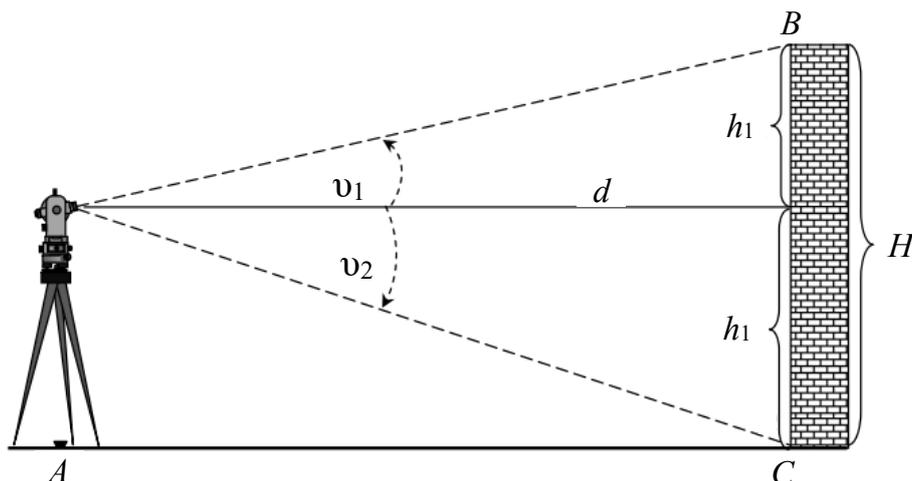


Рис. 15.1. Схема измерения высоты объекта

Таблица 15.1

Измерение высоты объекта

«12» июня 20 24 г. Теодолит 2Т30 Круг Л

Наименование точки станции	Наименование точки наведения	Отсчеты по вертикальному кругу (КЛ)	Углы наклона, v_1 / v_2	Расстояние d , м	Высота H , м
<i>Столб ЛЭП</i>					
		$KП = 0^{\circ}44'$	$КЛ = -0^{\circ}44'$	$МО = 0^{\circ}00'$	
A	B	27°47'	27°47'	14,22	8,76
	C	-5°31'	-5°31'		
<i>Дерево (сосна)</i>					
		$KП = 1^{\circ}05'$	$КЛ = -1^{\circ}07'$	$МО = -0^{\circ}01'$	
1	Вершина	35°11'	35°12'	30,12	23,41
	Основание	-4°05'	-4°06'		

7. Вычисляют высоту объекта с учетом знаков углов наклона:

$$H = d \cdot (\operatorname{tg}v_1 - \operatorname{tg}v_2). \quad (15.1)$$

Следует отметить, что с учетом знаков углов наклона приведенная формула для расчета высоты носит универсальный характер при расположении оси вращения теодолита как выше основания объекта (рис. 15.1), так и ниже его. Все данные заносятся в табл. 15.1.

15.2. Разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат

При разбивке криволинейных участков линейных сооружений, при возведении отдельных зданий, имеющих закругленные части,

возникает необходимость разбивки на местности круговых кривых через равные отрезки такой длины, чтобы дугу можно было принять за хорду. Исходной основой для детальной разбивки кривых линейных сооружений служат закрепленные на местности вершина угла поворота кривой ВУ, а также главные точки кривой: НК – начало кривой, СК – середина кривой, КК – конец кривой. По трем главным точкам точно построить кривую на местности невозможно, поэтому при строительстве трассы ее обозначают рядом дополнительных точек. Данные работы называются детальной разбивкой кривой. Существует множество методов разбивки, но на практике чаще всего пользуются способом прямоугольных координат (рис. 15.2).

Положение точек на кривой определяют координатами X и Y (рис. 15.2). За ось абсцисс принимают линию тангенса; если разбивка ведется от начала кривой, то за начало координат принимают точку НК, а если от конца кривой, то точку КК.

Значения X и Y находят из таблиц круговых кривых или определяют по формулам. Абсциссы и ординаты откладывают по касательной и перпендикулярно ей при помощи рулетки или ленты.

Для выполнения задачи каждая бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: теодолит, штатив, отвес, рейки, топор, вехи, тетрадь-дневник практики, сторожки (20–30 шт.). Бригады получают от руководителя практики задание: указание места разбивки, радиус кривой R , измеренный угол поворота трассы θ (можно использовать данные нивелирования трассы (см. пункт 9.1, с. 106)) и заданный шаг (интервал) разбивки l – расстояние между соседними точками на кривой (зависит от ее радиуса: $l = 20$ м при $R > 500$ м, $l = 10$ м при $100 < R < 500$ м, $l = 5$ м при $R < 100$ м).

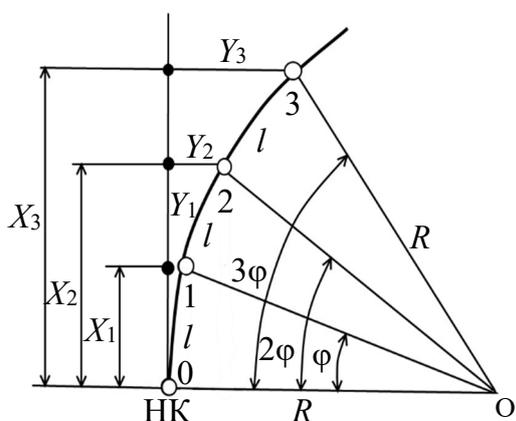


Рис. 15.2. Разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат

Так как любая кривая имеет две симметричные половины, расчет данных для детальной разбивки достаточно производить лишь для одной половины кривой (например, от начала кривой до ее середины).

1. Рассчитывают главные элементы круговой кривой T , K , B с округлением до 0,01 м по формулам (9.3)–(9.6), используя при этом значения угла поворота θ и радиуса R (данные заносятся в табл. 15.2).

2. Вычисляют угол φ (табл. 15.2), соответствующий дуге l :

$$\varphi = \theta \cdot l / K. \quad (15.2)$$

3. Рассчитываются по две координаты каждой точки разбивки ($i = 1, 2, 3$):

$$x_i = R \cdot \sin\varphi_i; \quad (15.3)$$

$$y_i = R \cdot (1 - \cos\varphi_i). \quad (15.4)$$

При этом при расчетах смотрят на величину значения x_i – как только она станет больше значения тангенса T , результат данного вычисления не записывают, а расчеты прекращают (или для определения количества x_i ($x_i < T$) можно также разделить T на l и округлить в меньшую сторону). Результаты вычислений заносят в табл. 15.2.

Таблица 15.2

Данные для детальной разбивки круговой кривой
способом прямоугольных координат

Элемент		Номер точки n	Угол $n\varphi$	Координата	
Обозначение	Значение (вычисление)			X	Y
θ	62°8'	НК	0	0,00	0,00
R	100 м	1	5,7297 (φ)	9,98	0,50
l	10 м	2	11,4594 (2φ)	19,87	1,99
T	60,24 м	3	17,1891 (3φ)	29,55	4,47
K	108,44 м	4	22,9188 (4φ)	38,94	7,89
B	16,76 м	5	28,6485 (5φ)	47,94	12,24
φ	5,7297°	6	34,3782 (6φ)	56,47	17,47

4. На местности вначале выбирают и закрепляют сторожками вершину угла ВУ, от нее рулеткой откладывают одну линию тангенса и ставят в конечной точке вешку (это будет НК).

5. Устанавливают теодолит на точке ВУ, приводят его в рабочее положение. Выставив 0°00' на лимбе горизонтального круга (см. пункт 12.2, с. 143) прибора (КЛ), при одновременном визировании на вешку тангенса (НК) откладывают угол ($180^\circ - \theta$) и в данном направлении в створе лентой откладывают (при этом корректируя направление через зрительную трубу теодолита) вторую линию тангенса (это будет КК). Закрепляют сторожками точки НК и КК.

6. От точки НК, совместив с ней нулевой штрих мерной ленты или рулетки, укладывают ленту в натянутом состоянии в створе тангенса по направлению к ВУ, отмечают шпилькой расстояние в отсчете X_1 (табл. 15.2) и фиксируют положение точки сторожком, вбивая его топором в землю.

7. С помощью нивелирных реек, уложенных встык перпендикулярно, или теодолита откладывают угол 90° , в этом створе отмеряют в сторону кривой расстояние, равное Y_1 (см. рис. 15.2), и фиксируют точку 1 колышком. При этом если величина Y превышает 4 м, для построения прямого угла используют теодолит (или эккер).

8. Аналогичные действия повторяют со всеми остальными точками круговой кривой (табл. 15.2), закрепляя их расположение сторожками.

9. Подобным образом от КК производят разбивку другой половины кривой. Найденные точки кривой закрепляют сторожками.

10. Откладывают биссектрису Б. Для этого из точки ВУ теодолитом отмеряют (см. выше п. 5) угол $(90^\circ - \theta / 2)$ от направления тангенса (НК), в створе данного направления лентой откладывают длину биссектрисы (при этом корректируя направление через зрительную трубу теодолита) и закрепляют ее сторожкой.

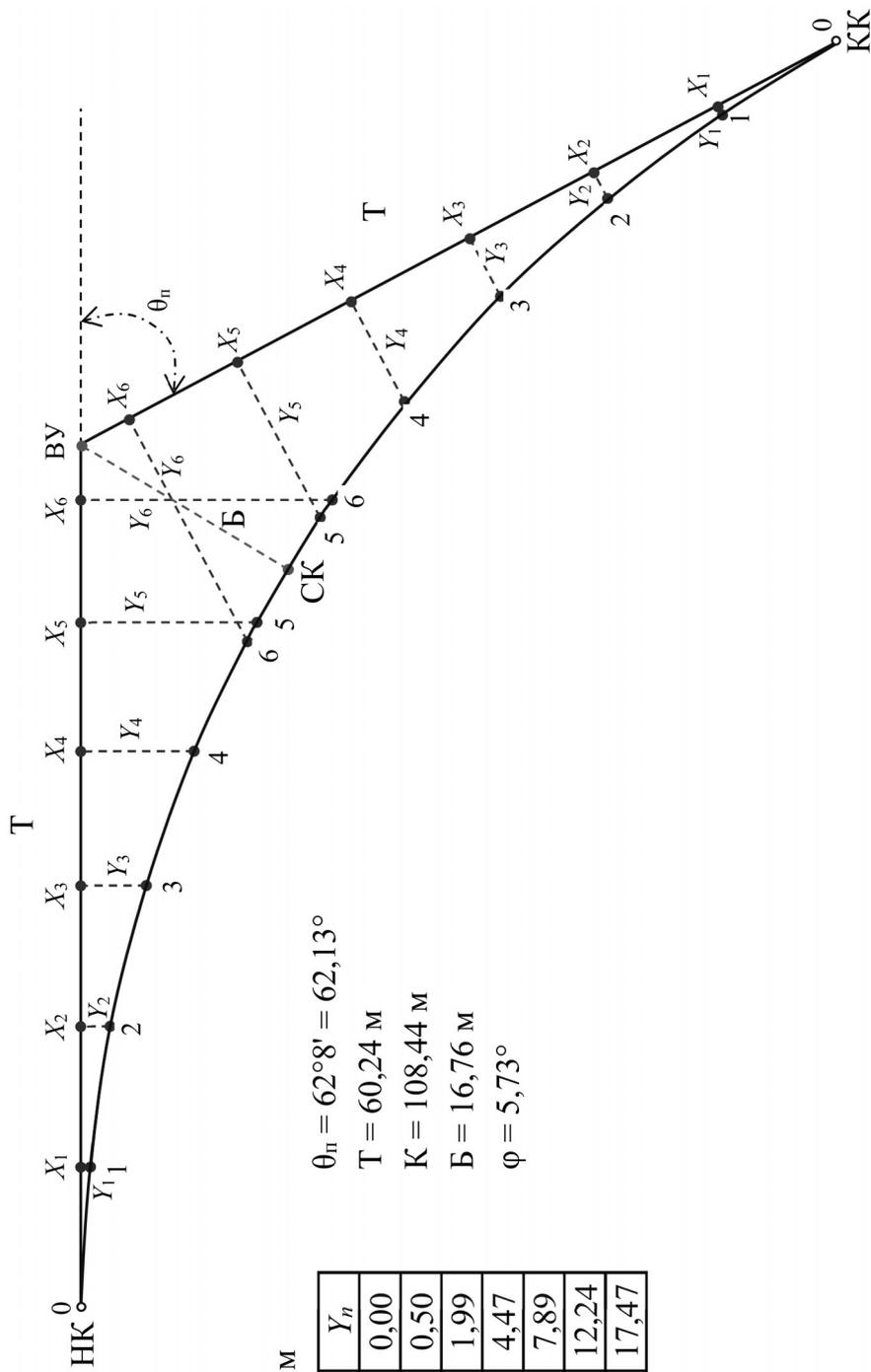
Примечание. Контролем правильности разбивки будет служить равенство расстояний между точками кривой 1–2, 2–3, 3–4 и т. д., измеренных рулеткой (лентой), которые должны быть равны шагу разбивки l ; визуально выставленные по кривой колышки должны плавно переходить в точку Б (СК); кроме того, последние (n -е) точки ветвей кривой, разбитые от точек НК и КК, должны быть расположены симметрично относительно точки Б (СК).

После окончания разбивки правильность выполнения работы проверяет руководитель практики.

Все исходные и вычисленные данные и соответствующую схему разбивки (в подобранном масштабе 1 : 400, 1 : 500 или 1 : 1000) бригада оформляет на листе бумаги формата А4 или А3 (рис. 15.3) в виде **разбивочного чертежа круговой кривой**. Построения начинают с прочерчивания в соответствующем масштабе линии тангенса (рис. 15.3) и нанесения на нее точек КК и ВУ (расстояние между ними равно тангенсу T). Пользуясь линейкой и транспортиром, откладывают угол θ_n и проводят под данным углом второй тангенс (НК). Точки НК и КК служат началом прямоугольных координат, а линии тангенсов – осями абсцисс. С помощью карандаша, линейки и прямоугольного треугольника делают такие же построения, как и на местности при разбивке кривой. Точки 1, 2, 3 и т. д. и симметричные им точки отмечают карандашом. Через точку ВУ проводят биссектрису (отмеряют от линии тангенса угол $90^\circ - \theta / 2$) и откладывают по ней длину Б. Проведенная через них плавная кривая должна быть круговой (рис. 15.3).

На окончательно оформленном чертеже можно не оставлять буквенные надписи X_n и Y_n . Чертеж оформляют черной тушью или гелевой ручкой, надписи делаются чертежным шрифтом.

ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРУГОВОЙ КРИВОЙ СПОСОБОМ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ



$R = 100 \text{ м}$ $l = 10 \text{ м}$

n	$n \cdot \varphi$	$n \cdot l$	X_n	Y_n
0 (НК)	0	0	0,00	0,00
1	5,73	10	9,98	0,50
2	11,46	20	19,87	1,99
3	17,19	30	29,55	4,47
4	22,92	40	38,94	7,89
5	28,65	50	47,94	12,24
6	34,38	60	56,47	17,47

$\theta_n = 62^\circ 8' = 62,13^\circ$
 $T = 60,24 \text{ м}$
 $K = 108,44 \text{ м}$
 $B = 16,76 \text{ м}$
 $\varphi = 5,73^\circ$

Масштаб 1:400

Выполнила бригада № ____

Рис. 15.3. Пример построения круговой кривой способом прямоугольных координат



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ. ВЫНОС НА МЕСТНОСТЬ ТОЧКИ С ЗАДАННОЙ ПРОЕКТНОЙ ВЫСОТОЙ. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПРОЕКТНОГО УКЛОНА

16.1. Вынос на местность точки с заданной проектной высотой

При производстве строительно-монтажных работ необходимость переноса отметок на местность возникает при строительстве заборов, возведении фундаментов производственных цехов и помещений лесхоза. Передача отметок осуществляется способами геометрического и тригонометрического нивелирования.

Для выполнения задачи каждая бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: нивелир, штатив, рейки, топор, тетрадь-дневник практики, кол или сторожок.

Передача отметки осуществляется от точки с известной отметкой (репера). На практике такими точками могут являться вершины углов теодолитного хода. Положение определяемой точки задается преподавателем.

1. Устанавливают нивелир между репером Рп 34 и точкой В, на которую нужно вынести и закрепить проектную отметку высоты (рис. 16.1), горизонтируют и приводят прибор в рабочее положение.

2. Визируют на рейку, установленную на репере, и берут отсчет $a_{\text{ч}}$ по черной стороне рейки (табл. 16.1).

3. Вычисляют проектный отсчет $b_{\text{ч}}$ (табл. 16.1) по черной стороне рейки для точки В по формуле

$$b_{\text{ч}} = (H_{\text{Рп}} + a_{\text{ч}}) - H_{\text{пр В}} = \text{ГИ} - H_{\text{пр В}}; \quad (16.1)$$

$$b_{\text{ч}} = (175,609 + 1,840) - 176,107 = 1,342 \text{ м} = 1342 \text{ мм}.$$

4. В точке В забивают кол, устанавливают на него рейку и по знаку наблюдателя постепенно передвигают ее вверх (или вниз) до тех

пор, пока средняя нить нивелира не совпадет с отсчетом $b_{ч} = 1342$. Когда пятка рейки и верхний срез кола будут соответствовать проектной отметке, забивают кол до уровня отметки, контролируя отсчет средней нитью.

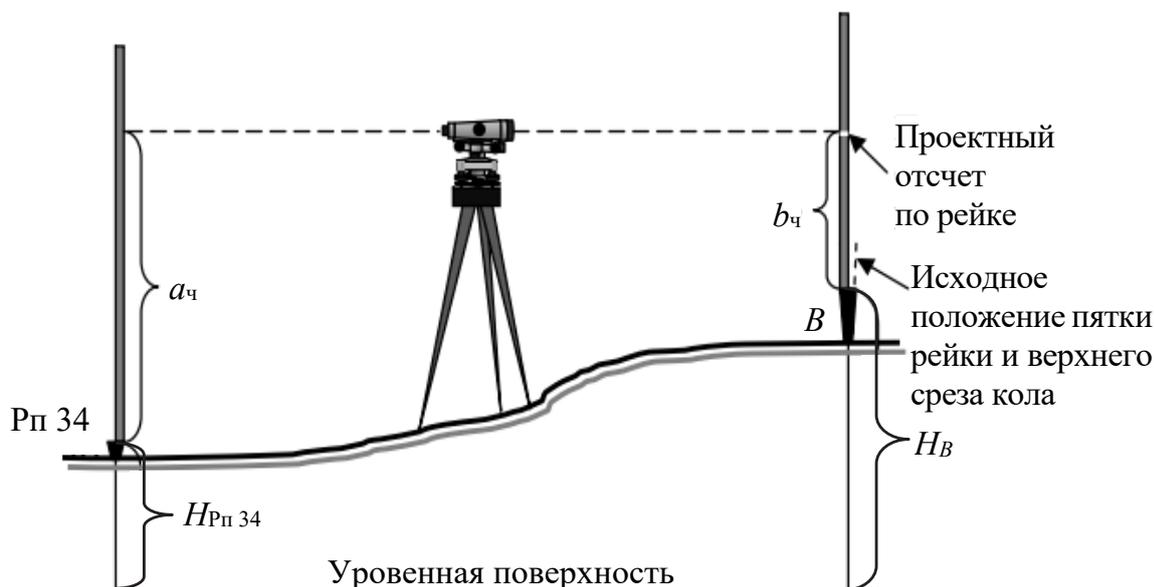


Рис. 16.1. Построение точки с заданной проектной отметкой

Таблица 16.1

Построение точки с проектной отметкой

Номер точки	Отметка, м	Отсчеты по рейке, мм		Превышение, мм	Разность, мм
		a	b		
РП 34	175,609	1840	–	$h = 1840 - 1342 =$	–
B	176,107	–	1342	$= +498$	
<i>Контроль</i>					
РП 34	–	1837 6629	–	+495	$\Delta h = 494 - 498 =$ $= -4$
B	–	–	1342 6136	+493 $h_{ср\ выч} = +494$	

При необходимости выполняют контрольное определение отметки вынесенной точки, выполняя на станции полный цикл нивелирования (по красной и черной сторонам рейки). Вычисляют разность $\Delta h = h_{ср\ выч} - h_{пр}$ (табл. 16.1), которая будет характеризовать точность выноса проектной отметки. Если $\Delta h \leq \pm 5$ мм, то измерения проведены верно (если $\Delta h < 0$, то кол надо поднять вверх на величину разности и наоборот).

16.2. Построение линии проектного уклона

Задача перенесения на местность линии и плоскости с заданным уклоном возникает при строительстве линейных сооружений, а также городских площадей и др. Построение линии заданного уклона на местности выполняется с помощью нивелира (или теодолита). При этом следует помнить, что применение нивелира ограничено оборотами его подъемного винта (один полный оборот подъемного винта подставки прибора наклоняет ось трубы на угол в 40'). Если превышение невелико, то положение промежуточных точек находится с помощью наклонного луча нивелира, в противном случае используется теодолит.

Для выполнения задачи каждая бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: нивелир, штатив, рейки, резинку (веревочку), топор, тетрадь-дневник практики, сторожки (5–10 шт.).

Бригады получают от руководителя практики задание – указать места расположения линии, ее длину, уклон и отметку репера, которые заносятся в табл. 16.2. От репера или от точки с известной высотной отметкой тахеометрического хода откладывается линия длиной 50–100 м, на которой через 5–20 м неглубоко забиваются сторожки (рис. 16.2) – последняя точка считается проектной точкой *B*. Рассчитывается ее проектная высота по формуле $H_B = H_{РП} + i \cdot d$ и заносится в табл. 16.2.

Например, $H_B = 175,609 + 0,015 \cdot 60 = 176,509$ м.

Таблица 16.2

Построение линии с заданным уклоном

Исходные данные				Рассчитываемые данные			
Длина отрезков <i>l</i> , м	Отметка репера $H_{РП}$, м	Уклон <i>i</i>	Расстояние между точками <i>d</i> , м	Проектная высота точки $H_{прВ}$	Отсчеты по черной стороне рейки, мм		Высота прибора $i_{пр}$, м
					<i>a</i>	<i>b</i>	
10	175,609	0,015	60	176,509	1341	0441	1,341

Для установки данной точки *B* на рассчитанную высоту можно расположить нивелир посередине между реперной точкой и точкой *B*, снять отсчет по черной стороне рейки *a* на репер и занести данный отсчет в табл. 16.2. По формуле (16.1) высчитывают проектный отсчет *b*.

Примечание. Предпочтительно выполнять две задачи по пунктам 16.1 и 16.2 одновременно.

Можно также использовать метод нивелирования «вперед».

1. Нивелир устанавливают над репером, горизонтируют и приводят в рабочее положение, при этом один из подъемных винтов должен быть направлен вдоль разбитой линии $P\Pi-B$, а линия, соединяющая два других винта, перпендикулярна ей (рис. 16.2, *а*).

2. Измеряют рейкой или рулеткой высоту прибора $i_{пр}$ (рис. 16.2, *б*) от репера до оси визирования (это и будет в данном случае отсчет a). Данный отсчет отмечают резинкой (веревочкой) на рейке и заносят в табл. 16.2.

3. Рассчитывают проектный отсчет: $b = (H_{P\Pi} + a_{ч}) - H_{прB} = ГИ - H_{прB}$. Например, $b = (175,609 + 1,341) - 176,509 = 176,950 - 176,509 = 0,441 \text{ м} = 0441 \text{ мм}$. Заносят результат в табл. 16.2.

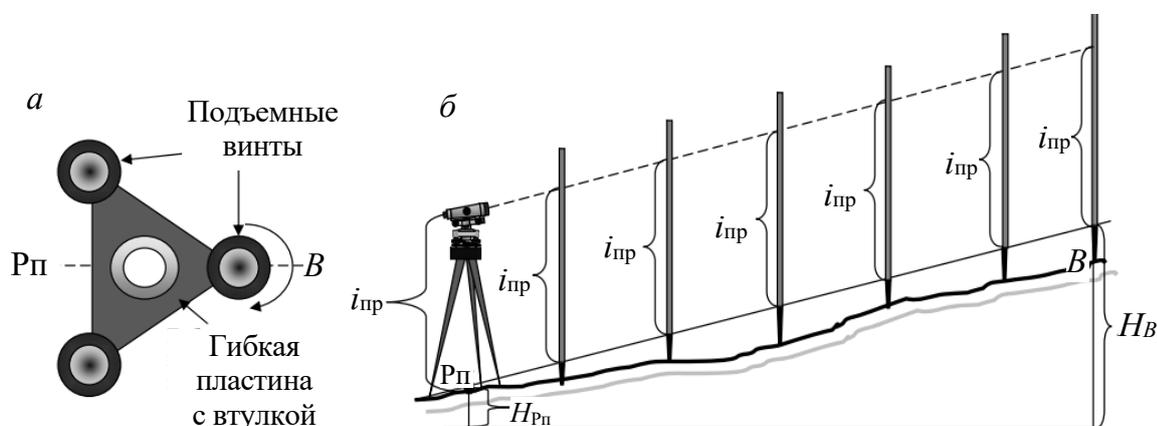


Рис. 16.2. Схема построения линии с заданным уклоном с помощью нивелира

4. На последней точке, разбитой сторожками линии (точка B), устанавливают рейку и производят закрепление на местности ее высотной отметки H_B (пока в зрительной трубе при горизонтальном положении не будет отсчет b), как это показано в предыдущей задаче (пункт 16.1).

5. После этого рейка остается на последнем сторожке на верхнем срезе кола, который соответствует отметке H_B . Подъемным винтом нивелира, расположенным на оси $P\Pi-B$ (рис. 16.2, *а*), наводят среднюю нить на отсчет, равный высоте прибора (рис. 16.2, *б*).

6. Далее рейку переносят на колья, установленные на 10-метровых отрезках линии. Постепенно забивая сторожки в землю, добиваются того, чтобы на каждой рейке средняя нить нивелира совпадала с отсчетом, равным высоте прибора (рис. 16.2, *б*).

Линия, соединяющая верхние срезы сторожков, и будет линией с заданным уклоном.



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ. ПЕРЕНЕСЕНИЕ НА МЕСТНОСТЬ КОНТУРА ЛЕСОУЧАСТКА. GPS-СЪЕМКА КОНТУРА ЛЕСОУЧАСТКА

17.1. Перенесение на местность контура лесоучастка

Вынос характерных точек границ объекта в натуру – это процедура, являющаяся разновидностью геодезических работ в лесном хозяйстве. Для выноса лесосеки в натуру составляется предварительный абрис лесоучастка (лесосеки, пробной площади) путем выкопировки с лесоустроительных планшетов границ отводимых делянок и всех таксационных выделов, входящих в выделяемую под делянку площадь лесонасаждений с привязкой к ближайшему пересечению квартальных просек (или к неподвижному хорошо видимому на карте ориентиру, например к пересечению дорог). Вынос лесоучастка в натуру с привязкой позволяет точно определить начальную точку объекта и выполнить отвод точно по периметру выдела (если он отводится целиком), что особенно важно при сложности четкого выделения в лесу границы выдела.

Форма и размеры лесоучастка могут быть различными, его границы могут совпадать с квартальными просеками, лесными дорогами, природными и искусственными границами. Лесоучасткам (лесосекам, пробным площадям) по возможности придают прямоугольную форму.

Эти данные можно получить с лесоустроительных планшетов посредством измерения длин горизонтального проложения линий циркулем-измерителем по линейному или поперечному масштабу. Измерение румбов (азимутов) линий и величин углов между линиями производится техническим транспортиром. При этом следует учитывать, что боковые рамки планшетов ориентированы с севера на юг.

На предварительный абрис должны быть нанесены длины линий границ лесоучастка (лесосеки, пробной площади), значения внутренних углов (азимутов, румбов) между линиями и привязки выносимого лесоучастка. Для данной цели в настоящее время используются географические системы, которые позволяют значительно упростить и уменьшить время на создание выкопировки для проведения полевых работ, что позволит проводить вынос различных объектов (лесосек) в натуру без искажения направлений (азимутов).

При отводе проектные углы между граничными линиями задают (строят) буссолью с точностью до 10–15', проектные расстояния – с относительной погрешностью 1/300.

Для выполнения задачи каждая бригада берет с собой следующие *приборы и инструменты*: буссоль со штативом, вешки, мерную ленту со шпильками, топорик, колышки и сторожки (по 8–10 шт.), маркер, тетрадь-дневник практики с необходимыми для выноски данными.

Предварительно, под руководством преподавателя, на планшете подбирается место для выноски участка леса (чистый спелый древостой), наносится контур объекта, например пробная площадь (вершины ПП1, ПП2 и т. д.) или лесосека (вершины Л1, Л2 и т. д.) с привязкой (рис. 17.1).

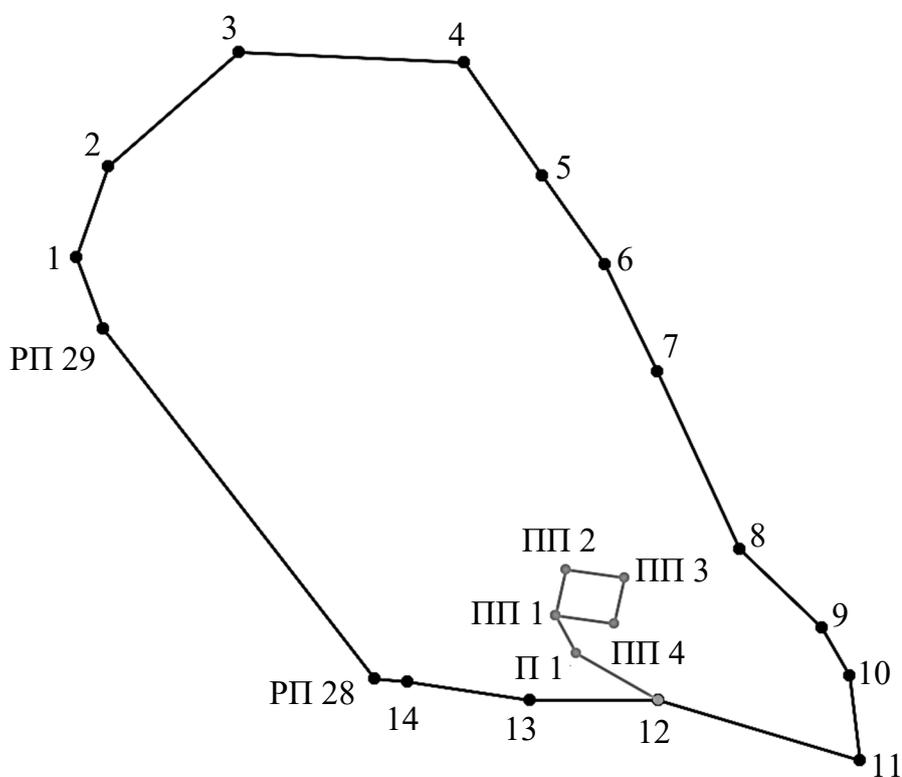


Рис. 17.1. Нанесение лесоучастка на планшете для выноски в натуру

Осуществляется его привязка к существующему теодолитному ходу или к пересечению квартальных просек либо дорог (обозначаются точки привязки на выкопировке – П1, П2 и т. д.).

Примечание. Данные для выноса подготавливаются графически, т. е. все необходимые данные определяют на плане при помощи циркуля-измерителя, транспортира и масштабной линейки. Точность этих данных зависит от масштаба плана и деформации бумаги, на которой составлен планшет (чем крупнее его масштаб, тем выше точность получаемых с плана линейных и угловых величин, и наоборот). Поэтому для профессионального выноса используются данные теодолитной ведомости (координаты, дирекционные углы) и координаты объектов, определенные по планшету. По этим данным с помощью обратной геодезической задачи получают необходимые для вынесения в натуру дирекционные углы (по которым можно получить горизонтальные углы – как разность дирекционных углов) и расстояния между точками.

Так как в лесном хозяйстве для угловых измерений используется буссоль, которая имеет меньшую точность по сравнению с теодолитом, то на учебной практике необходимо выполнить упрощенный вынос точек контура лесоучастка на местность двумя методами:

- привязочного хода с использованием азимутов (румбов);
- контура лесоучастка с использованием горизонтальных углов.

Горизонтальная разбивка в натуре сводится к построению найденных при подготовке данных проектных азимутов (горизонтальных углов) и расстояний.

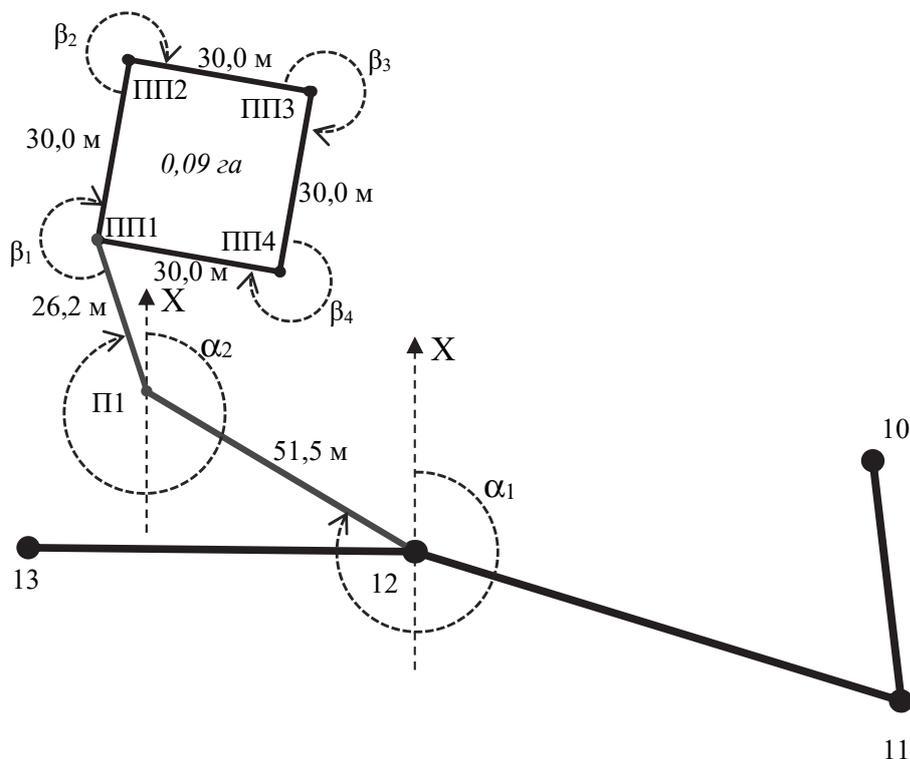
В начале работ (до выхода в натуру) по запроектированному на планшете контуру лесоучастка, например пробной площади квадратной формы (30×30 м), составляют схему для выноса объекта на местность с привязкой к стороне теодолитного хода (рис. 17.2).

На данную схему выносят расстояния, измеренные линейкой в миллиметрах на плане и переведенные согласно масштабу планшета в метры.

Для привязочного хода от оси X сетки квадратов (рамки) геодезическим транспортиром откладывают дирекционные углы линии привязочного хода (привязки), в нашем случае линии 12–П1 и П1–ПП1. Но следует также учесть, что на местности буссолью откладываются магнитные азимуты (румбы), поэтому измеренные дирекционные углы необходимо перевести обратно в магнитные азимуты:

$$A_m = \alpha - \delta + \gamma. \quad (17.1)$$

ПЕРЕНОСЕНИЕ НА МЕСТНОСТЬ КОНТУРОВ ЛЕСОУЧАСТКА



Привязочный ход (привязка)

Номер точки	Азимут магнитный (A_{Mi})	Расстояние, м
12–П1	$301^{\circ}15'$	51,5
П1–ПП1	$342^{\circ}30'$	26,2

Контур лесоучастка

Номер точки	Горизонтальный угол β_i	Расстояние, м
П1	–	–
ПП1	$207^{\circ}45'$	30,0
ПП2	$270^{\circ}00'$	
ПП3	$270^{\circ}00'$	30,0
ПП4	$270^{\circ}00'$	30,0
ПП1	–	30,0

Выполнила
бригада № _____

Рис. 17.2. Пример схемы выноса лесоучастка на местность

Угол сближения меридианов γ из-за его малой величины не учитывается в данном расчете (см. пункт 5.3), склонение магнитной стрелки δ было найдено ранее (см. пункт 5.3). Данную величину можно также определить с использованием интернета, например на

сайте <https://www.magnetic-declination.com/Belarus/330293.html>. Величина склонения изменчива, за год она варьирует приблизительно на $\pm 8'$ и равна $+8^{\circ}41'$ для пос. Городище в 2024 г.

Для контуров основного лесоучастка необходимо измерить транспортиром горизонтальные углы. Так как построение выполняется в обратном направлении, то для упрощения построения углов при выноске в натуру измеряют геодезическим транспортиром *левые по часовой стрелке горизонтальные углы* (максимальная точность $15'$) от створа линии хода (при необходимости можно измерить правые по ходу) и длины сторон лесоучастка линейкой в масштабе (в метрах), заносят их в таблицу на схеме (рис. 17.2) или просто указывают значения на ней.

Работы в натуре выполняют в следующей последовательности.

1. На местности, согласно схеме выноски, устанавливают буссоль на вершине основного хода (в нашем случае точка 12). Прибор центрируют над вершиной, чтобы отвес попал на кольцо (при установке буссоли на вешке необходимость в центрировании отпадает, поскольку вешка устанавливается непосредственно на вершину угла), и горизонтируют буссоль. Погрешность центрирования по отвесу допускается до 3–5 см. Совмещают «три нуля» – на лимбе и на румбическом градусном кольце (см. пункт 5.1, с. 63) – и откладывают магнитный азимут (рис. 17.2) (в нашем случае $301^{\circ}15'$). Затем от вершины теодолитного хода в направлении отложенного азимута откладывают рулеткой расстояние (при этом направление контролируется бригадиром через предметный и зрительный диоптры). Когда необходимое расстояние (в нашем случае 51,5 м) в азимутальном направлении отложено, то в данном месте вбивается кольцо, а рядом сторожок, на котором указывается название точки (в нашем случае П1).

Примечание. Если при откладывании проектного горизонтального угла и расстояния произошло попадание на дерево, необходимо определить азимут данного направления (см. пункт 5.1, с. 63) и измерить расстояние до дерева. Устанавливают буссоль сразу после дерева, откладывают измеренный азимут (см. п. 1) и оставшееся расстояние.

2. Переносят буссоль на новую точку (в нашем случае П1) и повторяют действия с установлением магнитного азимута и откладыванием расстояния для нахождения новой точки (рис. 17.2) – начальной точки лесоучастка (в нашем случае ПП1).

3. На начальной точке лесоучастка устанавливают буссоль и приводят в рабочее положение (центрируют ее и горизонтируют).

На заднюю точку устанавливают вешку (в нашем случае П1). Совмещают нули $0^{\circ}00'$ на лимбе и верньере алидады у зрительного диоптра. Откручивают зажимной винт на втулке (или вращая прибор осторожно во втулке) и совмещают $0^{\circ}00'$ на лимбе через зрительный в предметный диоптр точно на заднюю вешку и закручивают зажимной винт втулки. На горизонтальном круге лимба откладывают необходимое значение (рис. 17.2) первого горизонтального угла (в нашем случае $207^{\circ}45'$) и затем в полученном направлении отложенного горизонтального угла откладывают рулеткой расстояние (при этом направление контролируется бригадиром через предметный и зрительный диоптры). Когда необходимое расстояние (в нашем случае 30 м) в нужном направлении отложено, то в данном месте вбивается колышек, а рядом сторожок, на котором указывается название точки (в нашем случае ПП2).

4. Переносят буссоль на следующую новую точку (в нашем случае ПП2), а вешку перемещают и устанавливают на заднюю вершину (в нашем случае ПП1). Повторяют аналогичные действия (см. п. 3) по откладыванию второго проектного горизонтального угла (рис. 17.2) (в нашем случае $207^{\circ}00'$) и установлению второго расстояния (в нашем случае 30 м) с фиксацией точки колышком и сторожком.

5. Повторяют аналогичные действия (см. п. 3 и 4) с оставшимися точками (рис. 17.2) контура лесоучастка.

После окончания разбивки правильность выполнения работы проверяет руководитель практики. Линейная невязка проектного хода (несовпадение его конечной проектной точки с соответствующим пунктом хода) не должна превышать $1/100$ его длины.

17.2. GPS-съёмка контура лесоучастка (лесосеки)

Системы глобального позиционирования – технологические комплексы, предназначенные для нахождения координат пунктов в трехмерном земном пространстве путем измерения псевдодальности (расстояний) от приемника до спутников (желательно *не менее* 4 штук) способами *автономного* или *дифференциального* позиционирования в *статическом* или *кинематическом* режиме.

При *автономном* способе пользователь определяет координаты пункта местности одним приемником, и полученные значения координат принимаются за истинные. Расстояния до спутников определяются кодовым методом, а координаты пункта – пространственной

линейной засечкой (способ достаточно прост, но он весьма чувствителен ко всем источникам погрешностей).

При *дифференциальном* способе определения координат измерения выполняются минимум двумя GPS-приемниками. Один приемник устанавливают на пункт с известными координатами (геодезический пункт), его называют базовой станцией. Другой приемник, который называют мобильным, используют непосредственно для определения координат пунктов местности (не более 70 км от базовой станции). Поскольку точные координаты пункта расположения базовой станции известны, то они используются для корректировки значений координат, определяемых GPS-приемником, находящимся в лесу.

В режиме *статической* съемки приемники не перемещаются с пунктов в течение всего интервала измерений (снятие точек).

При *кинематическом* режиме мобильный приемник (телефонный навигатор) либо переносится по пунктам местности, координаты которых требуется определить, либо перемещается на автомобиле, велосипеде и др. (съемка трека).

В общей структуре систем глобального позиционирования выделяют 3 сегмента: *космический сегмент, сегмент управления и аппаратура потребителей.*

Космический сегмент представляет собой набор искусственных спутников Земли, равномерно размещенных на орбитах в околоземном пространстве, радиопередатчики которых непрерывно излучают сигналы в направлении Земли.

Сегмент управления включает сеть наземных станций слежения за космическими аппаратами.

Аппаратура потребителей состоит из навигационных приемников и устройств обработки, предназначенных для приема навигационных сигналов спутников GPS или ГЛОНАСС и вычисления собственных координат, скорости и времени.

Спутниковая навигация границ лесных площадей выполняется GPS-приемниками типа Garmin (в целях навигации на местности), позволяющими определить координаты точек с точностью 5–15 м; односторонними геодезическими приемниками типа Trimble R3, XT, XM, XH – с точностью 0,6–2,5 м; планшет PrinCe LT700H – с точностью до 1 м (в зависимости от условий проведения съемки, метода и продолжительности съемки, использования поправок с базовой станции, технических возможностей GPS-приемника).

Контур участка леса (или любого другого объекта) из GPS-приемника через обменный текстовый файл может импортироваться в

геоинформационные системы, что позволяет почти автоматически сформировать выходные документы GPS-отвода лесосеки (чертеж лесосеки с геодезическими данными отвода).

Каждой бригаде необходимо *выполнить отвод участка* с использованием GPS-приемника (Garmin Etrex 30 или Garmin Gpsmap 62 (64)). Для этого нужно получить у преподавателя GPS-навигатор Garmin Etrex 30 (рис. 17.3) и изучить отображение им карт (рис. 17.4) и меню (рис. 17.5). Преподаватель выдает фрагмент (рис. 17.6) лесоустроительного планшета (или космический снимок участка) с указанными точками привязки и вершинами лесоучастка для отвода (в сумме не менее 6–8 точек).



Рис. 17.3. GPS-навигатор Garmin Etrex 30



Рис. 17.4. Отображение карты в Garmin Etrex 30

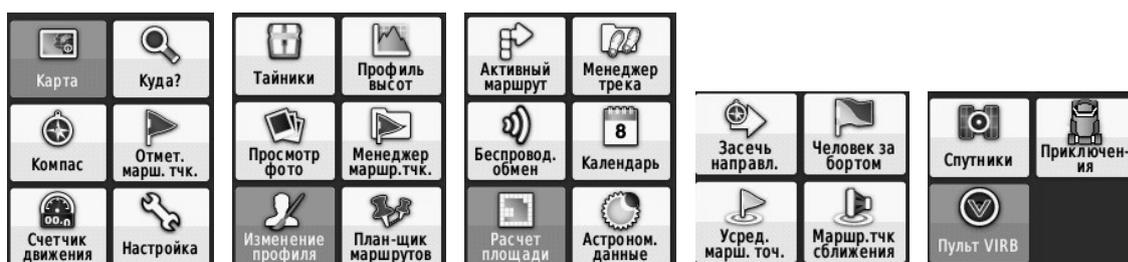


Рис. 17.5. Меню в GPS-навигаторе Garmin Etrex 30

Набор кнопок сбоку корпуса (рис. 17.3) состоит из 3 кнопок слева – ▲ (Zoom +) и ▼ (Zoom –), **Menu**, и 2 справа – **Включение питания (подсветки)** и **Вакс**, а также джойстика на лицевой панели. Навигатор обладает хорошим высокочувствительным приемником, который может одновременно принимать сигналы со спутников GPS и ГЛОНАСС. Поддерживает векторные и растровые карты (космоснимки), которые относительно просто загрузить в навигатор.

После включения навигатора нужно выбрать пункт меню **Карта** (рис. 17.5), при помощи джойстика (рис. 17.4) карта прокручивается в различных направлениях, а нажав кнопки ▲ и ▼, можно увеличить или уменьшить ее масштаб. При этом курсор на экране показывает местоположение на карте, а на панели в верхней части экрана отобразится информация (географические координаты и высотная отметка).

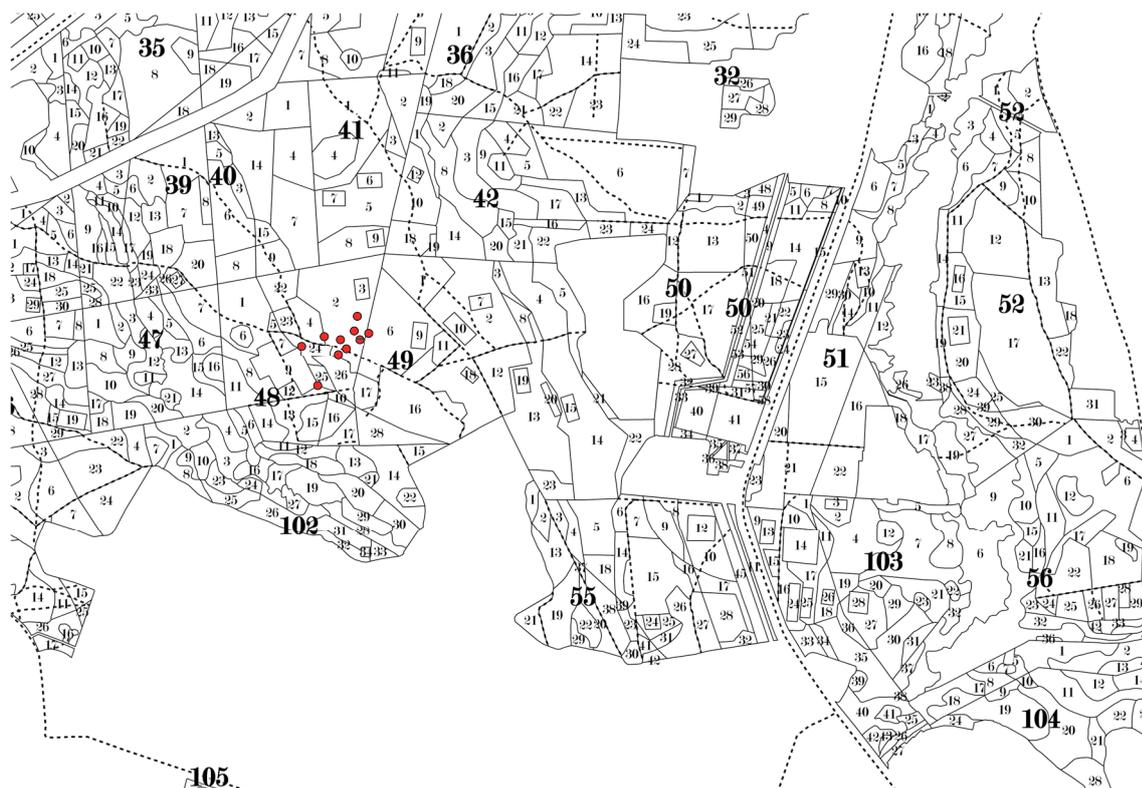


Рис. 17.6. Фрагмент лесоустроительного планшета с указанными точками привязки и лесосеки

Перед началом работы нужно удалить (или заархивировать) старые точки и треки, которые были записаны раньше (если они присутствуют).

Маршрутными точками называются местоположения, данные о которых записываются и хранятся в памяти устройства. Для их удаления выбирают с помощью джойстика пункт меню **Менеджер маршр. тчк.** (рис. 17.5) и в появившемся подменю (рис. 17.7) нажимают на корпусе навигатора кнопку **Menu** (рис. 17.3), выбирают **Удалить все** и подтверждают выбор, нажав **Да**.

Для выхода назад в карту нажимают кнопку **Back** на корпусе навигатора до выхода его в меню (рис. 17.5) и выбирают в нем пункт **Карта**.

После подготовки для работы навигатора по полученному у преподавателя снимку планируют оптимальный маршрут движения для GPS-съемки. Точками привязки и вершинами лесосеки могут служить хорошо различимые на снимке пересечения дорог, тропинок, квартальных просек, острые углы зданий и т. д.

Подойдя к первой точке, нужно точно стать, чтобы держать над ней GPS-приемник, и подождать около 5 минут (с увеличением продолжительности получения координат точность съемки увеличивается), затем нажать джойстик на навигаторе – в результате появится подменю **Запись точки** (рис. 17.8). С помощью джойстика и экранной клавиатуры можно поменять название точки или просто выбрать **Готово** и нажать на нем джойстиком (рис. 17.8). В результате точка будет сохранена.



Рис. 17.7. Перечень маршрутных точек

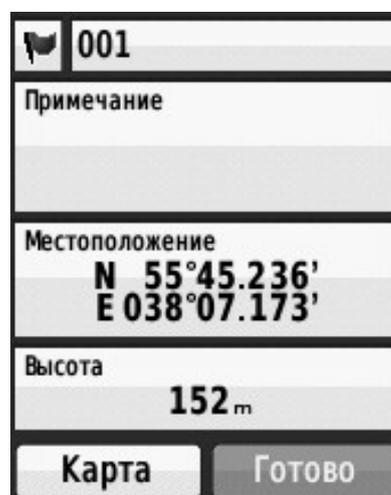
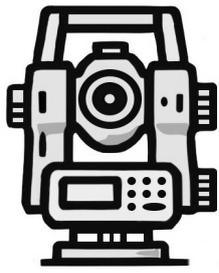


Рис. 17.8. Сохранение маршрутной точки в Garmin Etrex 30

Переходят ко второй точке лесосеки и повторяют операцию по позиционированию над точкой и ее сохранению в память навигатора. Эту же операцию выполняют со всеми точками привязки и вершинами лесоучастка (лесосеки), выданными преподавателем. В результате будет выполнена GPS-съемка участка с привязкой.



День № 18

ПРОВЕДЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ЗАЧЕТА

После выполнения всех видов работ, предусмотренных программой практики, бригада обязана все инструменты подготовить к сдаче в кабинет № 25, при этом тщательно их *очистить, проверить комплектность* и сдать их на хранение с получением *информационного листа о сдаче*.

По итогам практики каждая бригада сдает руководителю отчет, содержащий описание всех видов работ, полевые журналы, расчеты и графические материалы. Примерное содержание отчета по практике бригады студентов:

- титульный лист (рисунок);
- информационный лист сдачи геодезических приборов и оборудования на склад кафедры;
- содержание разделов отчета с нумерацией страниц;
- техника безопасности;

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра лесостроительства
ОТЧЁТ по учебной практике по дисциплине «Инженерная геодезия»
Выполнил бригада № ____ 1. Фамилия И.О. – бригадир 2. Фамилия И.О. 3. Фамилия И.О. 4. Фамилия И.О. 5. Фамилия И.О. 6. Фамилия И.О.
Минск 2024 г.

Титульный лист (образец)

– геодезические приборы и оборудование: результаты компарирования землемерной ленты или рулетки, результаты поверок и юстировок теодолита, пробный теодолитный ход, результаты поверок и юстировок нивелира, пробный нивелирный ход;

– теодолитная съемка: схема теодолитных ходов, журнал измерения горизонтальных углов и длин линий теодолитного хода, обратная геодезическая задача, ведомость вычисления координат вершин теодолитного (замкнутого, разомкнутого, привязочного) хода, абрисы съемки ситуации различными способами (перпендикуляров, линейными и угловыми засечками и т. д.);

– буссольная съемка: данные тренировочных буссольных измерений магнитных азимутов, румбов, горизонтальных углов, ведомость определения склонения магнитной стрелки, журнал и абрисы буссольных ходов, выкопировка с лесоустроительного планшета нанесения буссольного хода;

– определение площадей: ведомость вычисления площади замкнутого полигона (основного теодолитного хода) по координатам его вершин, ведомость определения цены деления планиметра, ведомость определения и уравнивания площадей участков планиметром (палеткой) по лесоустроительному планшету;

– геометрическое нивелирование трассы: журнал технического нивелирования, схема технического нивелирования трассы, пикетажный журнал, продольный профиль лесовозной дороги;

– тахеометрическая съемка: журнал тахеометрической съемки, абрисы съемки ситуации, ведомость вычисления координат вершин тахеометрического хода, журнал нивелирования вершин тахеометрического хода (при использовании геометрического нивелирования), план участка в масштабе с нанесенными на него горизонталями и контурами по материалам тахеометрической съемки;

– нивелирование участка по квадратам: журнал-схема нивелирования по квадратам, топографический план участка;

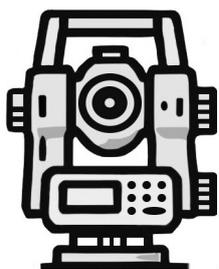
– геодезические задачи: измерение высоты деревьев или других объектов с помощью теодолита, перенесение точки на проектные отметки, построение линии с заданным уклоном, детальная разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат, проектирование на лесоустроительном планшете контура лесоучастка (лесосеки) и вынос его в натуру;

– список использованной литературы.

Все материалы подшиваются в папку (скоросшиватель), страницы нумеруются, составляется дополнительно содержание, введение и заключение, и папка отдается преподавателю на проверку.

После проверки преподавателем материалов отчета он возвращается для устранения студентами сделанных замечаний и ошибок (при их наличии), после исправления бригада вновь сдает отчет на проверку и повторяет вопросы к зачету.

Оценка знаний и полученных навыков каждого студента производится индивидуально-побригадно по результатам оценки его участия в работах бригады в процессе прохождения практики, написании и оформлении отчета, оценки бригадиром его работы в бригаде и индивидуальных ответов на вопросы руководителю практики во время сдачи дифференцированного зачета.

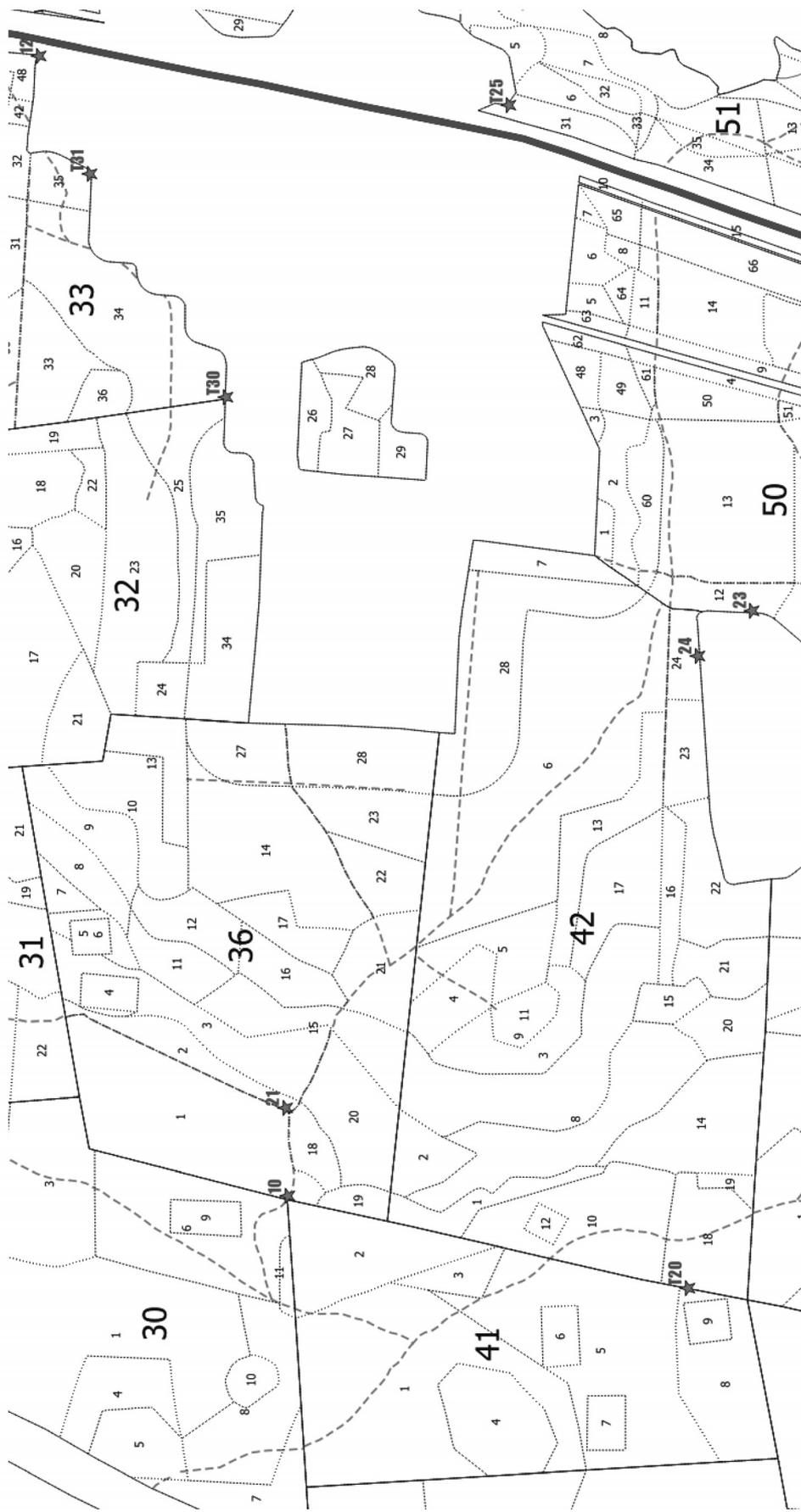


ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

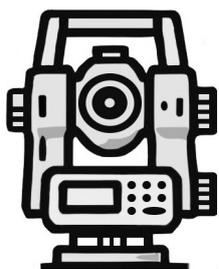
1. Назначение теодолита. Что такое теодолитная съемка?
2. Устройство теодолита 2Т30 и снятие отсчетов.
3. Основные поверки теодолита. Что такое юстировка?
4. Порядок измерения горизонтального угла способом приемов.
5. Вычислительная обработка ведомости координат теодолитного хода. Формулы.
6. Прямая и обратная геодезические задачи.
7. Землемерные ленты, рулетки и их назначение. Компарирование.
8. Буссольная съемка и ее назначение.
9. Устройство буссоли и ее основные поверки.
10. Азимут, румб, дирекционный угол и взаимосвязи между ними.
11. Техника измерения магнитных азимутов (румбов) буссолью.
12. Техника измерения горизонтальных углов буссолью.
13. Как и для чего определяют поправку на склонение магнитной стрелки для буссоли?
14. Какими способами снимают ситуацию при буссольной и теодолитной съемках?
15. Как наносят на план и увязывают буссольный ход?
16. Назначение нивелира. Способы нивелирования.
17. Основные части нивелира Н-3 и его основные поверки.
18. Сущность и способы геометрического нивелирования.
19. Последовательность работы по геометрическому нивелированию на станции. Измерение превышений.
20. Обработка журнала технического нивелирования. Пикетажный журнал. Горизонт прибора, сущность. Формулы.
21. Проектные уклоны, точки нулевых работ, рабочие отметки, промежуточные точки. Элементы круговой кривой и их вычисление.
22. Нивелирование по квадратам. Назначение и порядок работ.
23. Сущность тахеометрической съемки. Виды точек и их отличия.

24. Порядок работы на станции тахеометрической съемки.
25. Место нуля и его определение. Измерение вертикального угла (угла наклона). Сущность тригонометрического нивелирования.
26. Измерение расстояния нитяным дальномером.
27. Вычислительная обработка журнала тахеометрической съемки. Формулы. Как получить отметки точек?
28. Как изображается рельеф? Палетка.
29. Способы определения площади участков на плане. Как измерить площадь палеткой?
30. Инженерные задачи, их назначение и сущность. Какие геодезические приборы и задачи на практике используются в лесном хозяйстве?

Приложение А
СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ РЕПЕРОВ НА ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА
НЕГОРЕЛЬСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА







ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалевский, С. В. Основы геодезии и картографии: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-89 02 02 «Туризм и природопользование» / С. В. Ковалевский, Н. Я. Сидельник. – Минск: БГТУ, 2016. – 80 с.
2. Калинич, І. В. Геодезія: навчальний посібник / І. В. Калинич, Г. Г. Гриник, М. Р. Ничвид. – Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2020. – 248 с.
3. Ковалевский, С. В. Основы геодезии и картографии. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие / С. В. Ковалевский, Н. Я. Сидельник, А. А. Пушкин. – Минск: БГТУ, 2014. – 113 с.
4. Букин, С. Н. Геодезия: учеб.-метод. пособие к лабораторным работам по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» (2 семестр) / С. Н. Букин, Е. С. Денисова. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 104 с.
5. Руководство по учебной геодезической практике: учеб. пособие / В. В. Пономаренко, Е. П. Тюкленкова, В. В. Пресняков, В. Н. Туманов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 216 с.
6. Передерин, В. М. Основы геодезии и топографии: учеб. пособие / В. М. Передерин, Н. В. Чухарева, Н. А. Антропова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 127 с.
7. Геодезическая практика: учеб. пособие для вузов / Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина, О. Н. Романенко, Л. И. Хлебородова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – 249 с.
8. Калинин, В. Г. Геодезия (работа на местности): учеб. пособие / В. Г. Калинин, Д. Г. Тюняткин, Т. Е. Плотникова. – Пермь: Прокрость, 2021. – 97 с.
9. Сорока, А. В. Учебная топографическая практика: учеб.-метод. рекомендации / А. В. Сорока, И. Н. Шарухо. – Могилев: МГУ имени А. А. Кулешова, 2020. – 76 с.
10. Анопин, В. Н. Топографические съемки, инженерно-геодезические изыскания и построения: метод. указания к учеб. геодезической практике [Электронный ресурс] / В. Н. Анопин. – 2018. – 43 с. – Режим доступа: https://vgasu.ru/attachments/topografichsemki_anopin.pdf. – Дата доступа: 07.02.2024.

11. Калинин, В. Г. Основы геодезии и топографии: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. II. Практические аспекты / В. Г. Калинин, Д. Г. Тюнякин, К. Д. Микова. – Пермь: ПермГНИУ, 2018. – 82 с.
12. Шеховцов, Г. А. Инженерная геодезия: учеб.-метод. пособие / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2016. – 45 с.
13. Анисимов, В. А. Инженерная геодезия: сб. лекций / В. А. Анисимов, С. В. Макарова. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009. – 150 с.
14. Шешукова, Л. В. Геодезия: метод. указания к выполнению курсовой работы / Л. В. Шешукова, Е. А. Колтович. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 120 с.
15. Геодезия. Полевые и камеральные работы: учеб. пособие / О. В. Сычугова, С. С. Зубова, Г. В. Анчугова, С. С. Постникова. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. – 93 с.
16. Чернявский, С. М. Учебно-полевая практика по инженерной геодезии: учеб. пособие / С. М. Чернявский. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2011. – 149 с.
17. Основы геодезии и картографии: учеб. пособие / А. Т. Раймбекова, Д. Т. Кадылбеков, Н. А. Абдрахман, А. С. Ергожин. – Астана: Холдинг «Кәсіпқор», 2018. – 121 с.
18. Основы инженерной геодезии: учеб. пособие / С. П. Войтенко [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Одесса: ОГАСА, 2014. – 217 с.
19. Калачева, Н. А. Учебная практика по геодезии: учеб. пособие / Н. А. Калачева, О. А. Гугуева. – Ростов н/Д: ДонГТУ, 2018. – 123 с.
20. Синютина, Т. П. Методические указания по учебной геодезической практике / Т. П. Синютина. – Омск: СибАДИ, 2013. – 73 с.
21. Кобелькова, В. Н. Учебное пособие по дисциплинам «Инженерная геодезия» и «Геодезия и маркшейдерское дело» для студентов заочного факультета / В. Н. Кобелькова, Н. В. Рубцов, В. Н. Хонякин. – Магнитогорск: МагТГУ, 2008. – 139 с.
22. Ишбулатов, М. Г. Обработка материалов нивелирования по квадратам и проектирование горизонтальной площадки / М. Г. Ишбулатов, Ю. Н. Яковлева. – Уфа: БГАУ, 2011. – 12 с.
23. Яковлева, Ю. Н. Обработка результатов тахеометрической съемки: метод. указания / Ю. Н. Яковлева. – Уфа: БГАУ, 2012. – 16 с.
24. Дегтярев, А. М. Геодезия: учеб.-метод. комплекс. В 2 ч. Ч. 1 / А. М. Дегтярев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополюцк: ПГУ, 2010. – 364 с.

25. Хаметов, Т. И. Геодезические работы в строительстве: учеб. пособие / Т. И. Хаметов, В. В. Пономаренко. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 104 с.

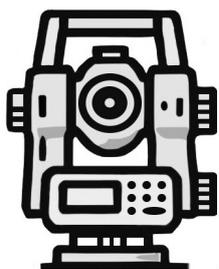
26. Резницкий, Ф. Е. Инженерная геодезия: учеб. пособие для студентов специальности 270204 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» / Ф. Е. Резницкий. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2008. – 131 с.

27. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. – М.: Картгеоцентр, 2004. – 286 с.

28. Нестеренок, В. Ф. Геодезия в лесном хозяйстве: учеб. пособие / В. Ф. Нестеренок, М. С. Нестеренок, В. А. Кухарчик. – Минск: РИПО, 2015. – 280 с.

29. Сидельник, Н. Я. Геоинформационные системы в лесном хозяйстве. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» / Н. Я. Сидельник, И. В. Толкач, М. В. Балакир. – Минск: БГТУ, 2017. – 80 с.

30. Инженерная геодезия: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-75 02 01 «Садово-парковое строительство» / Н. Я. Сидельник, П. В. Севрук, О. В. Кравченко [и др.]. – Минск: БГТУ, 2023. – 160 с.



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Содержание и организация практики	4
Правила внутреннего распорядка, обязанности бригадира и членов бригады	8
Основные положения техники безопасности при прохождении учебной практики.....	11
День № 1. Теодолитная съемка. Подготовительные работы.....	15
1.1. Устройство теодолита и его поверки	15
1.1.1. Поверки теодолита.....	18
1.1.2. Техника измерения горизонтального угла	23
1.2. Землемерные ленты, рулетки	27
1.2.1. Компарирование землемерных лент.....	27
1.2.2. Техника измерения расстояний	28
День № 2. Теодолитная съемка. Полевые работы	33
День № 3. Теодолитная съемка. Съемка ситуации	39
День № 4. Теодолитная съемка. Камеральная обработка результатов.....	47
День № 5. Буссольная съемка. Подготовительные работы	61
5.1. Устройство буссоли и ее поверки.....	61
5.2 Техника измерения направлений и горизонтального угла	65
5.3. Определение склонения магнитной стрелки.....	68
День № 6. Буссольная съемка. Полевые и камеральные работы	71
6.1. Полевые работы	71
6.2. Обработка данных буссольной съемки.....	73
6.3. Нанесение буссольных ходов.....	75
День № 7. Буссольная съемка. Определение площади	79
День № 8. Геодезические измерения на трассе лесовозной дороги. Подготовительные и разбивочные работы	90
8.1. Устройство нивелира и нивелирных реек	90

8.2. Поверки нивелира с уровнем	94
8.3. Техника измерения превышений	97
8.4. Подготовительные работы при нивелировании трассы и закрепление оси на местности	104
День № 9. Геодезические измерения на трассе лесовозной дороги. Полевые работы	106
9.1. Разбивка главных элементов круговых дорожных кривых и поперечников	106
9.2. Пикетажный журнал	109
9.3. Нивелирование трассы	111
9.4. Нивелирование поперечников	115
День № 10. Вычислительная обработка результатов нивелирования и составление продольного профиля трассы.....	116
10.1. Вычислительная обработка результатов нивелирования	116
10.2. Построение профиля трассы	120
День № 11. Тахеометрическая съемка. Создание съемочного обоснования	128
11.1. Создание планового съемочного обоснования	129
11.2. Создание высотного съемочного обоснования.....	131
11.3. Снятие отсчета по дальномеру и определение коэффициента дальномера	136
День № 12. Тахеометрическая съемка. Подготовительные и полевые работы	139
12.1. Абрис и кроки	139
12.2. Порядок работы на станции тахеометрической съемки	142
День № 13. Тахеометрическая съемка. Обработка данных тахеометрической съемки. Составление топографического плана	147
13.1. Вычислительная обработка журнала тахеометрической съемки.....	147
13.2. Нанесение съемочных пикетов и прочерчивание контуров объектов местности	149
13.3. Изображение рельефа	152
13.4. Оформление топографического плана.....	156
День № 14. Топографическая съемка. Нивелирование по квадратам	158
14.1. Геодезические полевые работы	158
14.2. План участка нивелирования поверхности по квадратам.....	162
	195

День № 15. Инженерно-геодезические задачи. Измерение высоты объектов. Разбивка круговой кривой.....	164
15.1. Измерение высоты объектов геодезическим способом	164
15.2. Разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат.....	165
День № 16. Инженерно-геодезические задачи. Вынос на местность точки с заданной проектной высотой. Построение линии проектного уклона.....	170
16.1. Вынос на местность точки с заданной проектной высотой	170
16.2. Построение линии проектного уклона.....	172
День № 17. Инженерно-геодезические задачи. Перенесение на местность контура лесоучастка. GPS-съёмка контура лесоучастка	174
17.1. Перенесение на местность контура лесоучастка	174
17.2. GPS-съёмка контура лесоучастка (лесосеки)	179
День № 18. Проведение дифференцированного зачета	184
Вопросы к зачету.....	186
Приложение А. Схема размещения реперов на части территории геодезического полигона Негорельского учебно-опытного лесхоза	188
Приложение Б. Продольный профиль лесовозной дороги (пример)	190
Литература	191

Учебное издание

Сидельник Николай Ярославович
Севрук Павел Владимирович
Ковалевский Сергей Владимирович и др.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методическое пособие

Редактор *О. П. Приходько*
Компьютерная верстка *Д. А. Кускильдина*
Дизайн обложки *Д. А. Полешова*
Корректор *О. П. Приходько*

Подписано в печать 01.07.2025. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 11,5. Уч.-изд. л. 11,8.
Тираж 128 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.