

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА**

**Методические рекомендации для студентов  
специальностей 1-75 01 01 «Лесное хозяйство»,  
1-75 02 01 «Садово-парковое строительство»**

Минск 2009

УДК 528.425.2(075.8)

ББК 26.1я73

И62

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета.

Составители:

*А. А. Пушкин,*

*С. В. Ковалевский*

Рецензент

кандидат сельскохозяйственных наук,

доцент кафедры лесных культур и почвоведения БГТУ

*А. П. Волкович*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы на 2009 год. Поз. 5.

Для студентов специальностей 1-75 01 01 «Лесное хозяйство», 1-75 02 01 «Садово-парковое строительство».

©УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2009

## ПРЕДИСЛОВИЕ

По результатам изучения раздела «Тахеометрическая съемка» студенты оформляют расчетно-графическую работу «Составление топографического плана по материалам тахеометрической съемки». Расчетно-графическая работа включает в себя вычислительную обработку журнала тахеометрической съемки, вычисление плановых и высотных координат пунктов съемочного обоснования, высотных координат съемочных пикетов, нанесение на план точек по их прямоугольным и полярным координатам, изображение рельефа местности горизонталями и вычерчивание составленного плана условными топографическими знаками.

Графические построения выполняются при помощи координатной линейки Ф. В. Дробышева, масштабной линейки ЛМП и геодезического транспорта ТГ.

При выполнении работы применяются тахеометрические таблицы [3], таблицы условных топографических знаков [4], инженерные калькуляторы, а также для контроля конечных результатов предусмотрено использование персональных компьютеров. Студенты должны усвоить сущность устройства и практического применения геодезических приборов – теодолитов, тахеометров – для проведения полевых работ при тахеометрической съемке.

*Указания по вычислениям, оформлению и защите расчетно-графической работы.* Топографический план вычерчивают тушью на чертежной бумаге, надписи выполняют чертежным шрифтом.

Перечень материалов, подлежащих вложению в расчетно-графическую работу: 1) пояснительная записка; 2) журнал тахеометрической съемки; 3) ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода; 4) топографический план.

Защита расчетно-графической работы осуществляется в форме беседы преподавателя и студента. Проверка освоения теоретического материала выполняется на каждом занятии путем письменного или устного опроса студентов по пройденному материалу в соответствии с контрольными вопросами.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1. Назначение и сущность тахеометрической съемки

Тахеометрия (от греч. *tachys* – быстрый и *metreo* – измеряю) в переводе с греческого означает быстрое измерение и является одним из видов топографической съемки.

Тахеометрическая съемка – это такой вид геодезических работ, при котором, пользуясь полярной системой координат, при одной постановке прибора и одном визировании в его зрительную трубу на рейку, находящуюся в снимаемой точке, можно измерить три величины, характеризующие положение снимаемой точки в плане и по высоте – направление, расстояние и превышение.

Горизонтальное направление (*горизонтальный угол*  $\beta$ ) на эту точку определяют по лимбу горизонтального круга прибора. Расстояние ( $D$ ) от станции до снимаемой точки измеряют с помощью дальномера. Превышение ( $h$ ) точки над станцией отсчитывается или вычисляется по измеренному углу наклона ( $\nu$ ) и расстоянию ( $D$ ) (рис. 1).

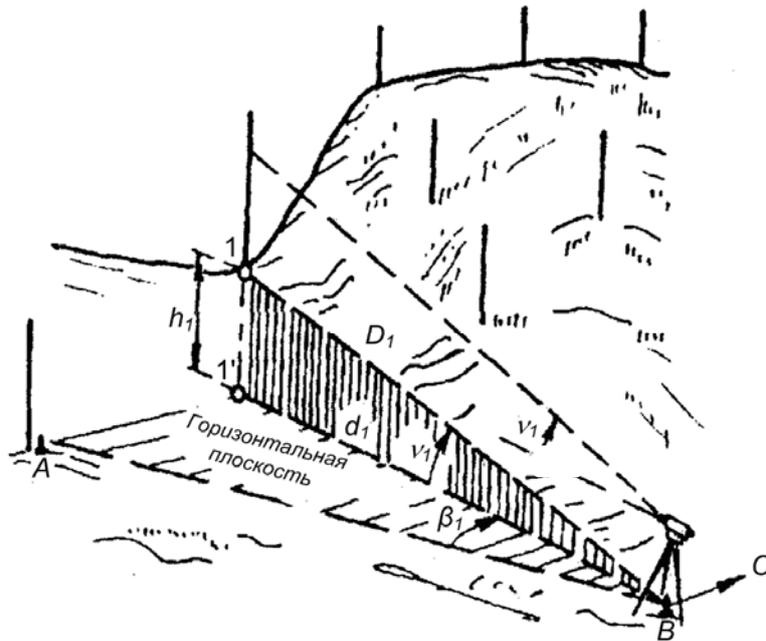


Рис. 1. Сущность тахеометрической съемки:

$A, B, C$  – пункты съемочного обоснования;  $\beta_1, d_1, h_1$  – полярные координаты съемочного пикета 1;  $D_1$  – расстояние до съемочного пикета 1;  $\nu_1$  – угол наклона линии  $B-1$

Тахеометрическая съемка производится как независимо, так и в сочетании с другими видами работ, для получения топографических планов в крупном масштабе на небольших участках местности, а также для съемки местности при линейных изысканиях (всех видов) транспорта, газопроводов, линий связи и электропередач, застроенных и незастроенных территорий населенных пунктов и в других различных случаях инженерной практики. Обычно она производится для составления планов в масштабе не мельче 1 : 5000.

Тахеометрическая съемка, как и другие геодезические съемки, выполняется по принципу перехода от общего к частному и состоит из полевых и камеральных работ.

Полевые работы включают рекогностировку участка (изучение местности с целью выбора метода составления съемочного обоснования и мест закрепления его пунктов), закрепление пунктов съемочного обоснования, установку прибора, с помощью которого осуществляется тахеометрическая съемка, на станции и последовательная установка тахеометрической рейки на характерных пунктах ситуации и рельефа, называемых съемочными пикетами или речными точками. После установки прибора на станции его зрительную трубу наводят на рейку и снимают необходимые расчеты для определения полярных и высотных координат точек местности.

Под станцией (как и при любой съемке) понимается точка местности, над которой сцентрирован (установлен) прибор. Это обычно точка исходного съемочного топографического обоснования или дополнительная съемочная точка.

В процессе съемки заполняется журнал тахеометрической съемки и составляется абрис, именуемый *кроки*.

Камеральные работы сводятся к обработке полевых данных и заключаются в вычислении прямоугольных координат пунктов съемочного обоснования, полярных координат и отметок съемочных пикетов, нанесении их на план, изображении ситуации, прорисовке горизонталей и вычерчивании плана участка местности условными топографическими знаками.

## **1.2. Приборы для тахеометрической съемки**

Для выполнения тахеометрической съемки местности используются тахеометры.

Тахеометр – геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин линий и превышений.

Тахеометрическая съемка может производиться авторедукционными (ТД – тахеометр-высотомер с дальномером двойного изображения, ранее известный под шифром ТП – тахеометр-полуавтомат; Редта-002 – редуцирующий тахеометр-автомат, обеспечивающий измерение расстояния 100 м с ошибкой 2 см), номограммными (ТаН – тахеометр номограммный, 2ТаН – тахеометр номограммный, вторая модель; Дальта-020, Дальта-010, Дальта-010А и Дальта-010В – тахеометры-автоматы Даля, дающие на 100 м расстояния ошибки 20 и 10 см), внутрибазными (ТВ – редуцирующий тахеометр с внутрибазным дальномером, БРТ-006 – внутрибазовый редуцирующий тахеометр с ошибкой 6 см на 100 м), электронными тахеометрами или, как исключение, теодолитами.

Тахеометр-высотомер ТД (рис. 2) выпускался в СССР с 1975 г. (с 1970 по 1975 г. изготовлялась первая модель тахеометра под шифром ТП).

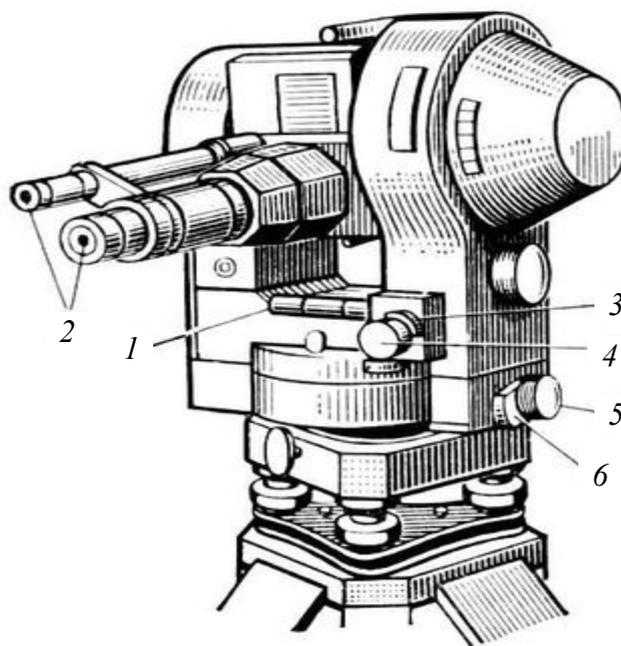


Рис. 2. Тахеометр ТД:

1 – цилиндрический уровень; 2 – окуляры зрительной трубы и микроскопа; 3 и 4 – закрепительный и наводящий винты вертикального круга; 5 и 6 – то же горизонтального круга

Предназначен тахеометр-высотомер ТД для проложения полигонометрических ходов 2-го разряда и производства тахеометрических съемок повышенной точности. Тахеометр является комбинированным прибором. В нем сочетаются шкаловый теодолит типа 2Т5КП со зрительной трубой с компенсатором и дальномер-высотомер двойного изображения с неподвижными клиньями конструкции А. И. Захарова.

Тахеометр-высотомер используется для измерения горизонтальных и вертикальных углов с точностью  $0,1-0,2'$ , горизонтальных проложений линий со средней квадратической относительной ошибкой  $1 : 5000$ , превышений с ошибкой  $3-4$  см на  $100$  м (высотомером) и может применяться в качестве нивелира технической точности IV класса.

Номограммный тахеометр 2ТаН выпускался отечественной промышленностью с 1981 г., сначала по ГОСТ 10812-74 «Тахеометры. Основные параметры и технические требования» под шифром ТН (2ТН – тахеометр номограммный, вторая модель); с 1984 г. – по ГОСТ 10812-82 «Приборы геодезические номограммные. Общие технические условия» под шифром ТаН; 2ТаН – номограммный тахеометр, вторая модель (рис. 3).

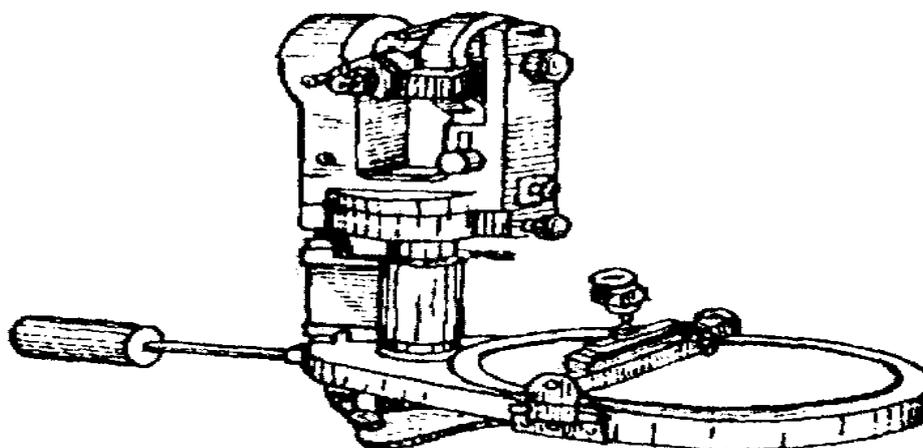


Рис. 3. Тахеометр 2ТаН

Тахеометр 2ТаН предназначен для измерения горизонтальных проложений со средней квадратической ошибкой не более  $0,15$  м при  $K_s = 100$  (коэффициент кривой для определения расстояний);  $0,20$  м при  $K_s = 200$  на  $100$  м расстояния, превышений – с ошибкой не более  $3$  см на  $100$  м при  $K_h = \pm 10$  (коэффициент кривой для определения превышений) и  $6$  см при  $K_h = \pm 20$ , углы с ошибками не более: горизонтальные –  $8''$ , вертикальные –  $12''$ . Тахеометр имеет отдельные вертикальный и номограммный круги. Угломерная часть прибора и оси изготовлены унифицированно с теодолитом 2Т5К. Вертикальный круг снабжен компенсатором, заменившим уровень при алидаде вертикального круга. Введены юстировочные винты компенсатора для исправления МО (место нуля) в полевых условиях. В приборе имеется оптический центрир. На горизонтальном круге укреплен круг-

искатель, позволяющий быстро ориентировать прибор. Когда не требуется измерение вертикальных углов, верхняя половина поля зрения микроскопа зашторивается поворотом рукоятки, расположенной под зеркалом подсветки.

В тахеометре установлена апохроматическая зрительная труба типа ГД 302, обеспечивающая высокое качество прямого изображения предмета.

Измерения по номограмме выполняют при положении КЛ (круг лево). В открытом поле зрения окуляра трубы наблюдатель рассматривает одновременно вертикальную нить сетки, изображения рейки и кривых.

Тахеометр 2ТаН выпускают со столиком, соединением с которым осуществляют через промежуточный кронштейн, приподнимающий тахеометр над планшетом.

В комплект тахеометра входят: штатив типа ПШ-160, две складные рейки с круглыми уровнями и выдвжными пятками, комплект масштабных линеек и буссоль. Рейки имеют сантиметровые деления. Форма их раскраски, чередование цветов и оцифровка исключают возможность появления грубых ошибок в отчетах.

Тахеометр Дальта 010 выпускался в Германии с 1969 г., позднее – Дальта 010А и Дальта 010В (рис. 4). Тахеометр предназначен для измерения горизонтальных проложений с относительной ошибкой 1 : 1000 и превышений со средней квадратической ошибкой 3–10 см на 100 м по номограмме, горизонтальных и вертикальных углов с ошибкой 5–6". В отличие от Дальта 020 в последних моделях тахеометра применены: улучшенная зрительная труба, оптический центрир, соосные винты, компенсатор при вертикальном круге с диапазоном действия 3–5'.

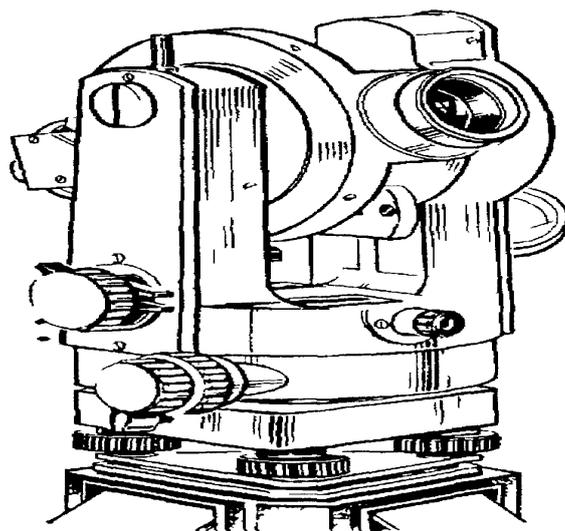


Рис. 4. Тахеометр Дальта 010В

Тахеометр внутрибазовый (ТВ) выпускался в СССР с 1969 по 1978 г., он предназначен для измерения горизонтальных проложений с относительной ошибкой 1 : 1000, горизонтальных и вертикальных углов с ошибкой 30" и 60", превышений с ошибкой 3–5 см на 100 м (рис. 5). Это оптический внутрибазовый прибор, снабженный дальномером двойного изображения с переменной базой на самом приборе. База изменяется перемещением каретки. Определение горизонтальных проложений и превышений осуществляется при наведении зрительной трубы на местный предмет или специальную марку. Определяемые положения автоматически редуцируются на горизонтальную плоскость в зависимости от угла наклона: оптический клиновой компенсатор изменяет параллактический угол, расстояния до 60 м можно измерять без рейки, от 60 до 180 м – по рейке. Деления горизонтального и вертикального кругов нанесены через 10'.

Отсчет выполняют по индексу с оценкой десятых долей наименьшего деления на глаз до 1' по горизонтальному кругу с помощью микроскопа, по вертикальному – в поле зрения зрительной трубы, куда передаются изображения штрихов вертикального круга. Зрительная труба дает прямое изображение. Тахеометр-высотомер ТВ используют при тахеометрических съемках труднодоступных участков, съемках в городах при интенсивном движении транспорта, в железнодорожном и автодорожном строительстве.

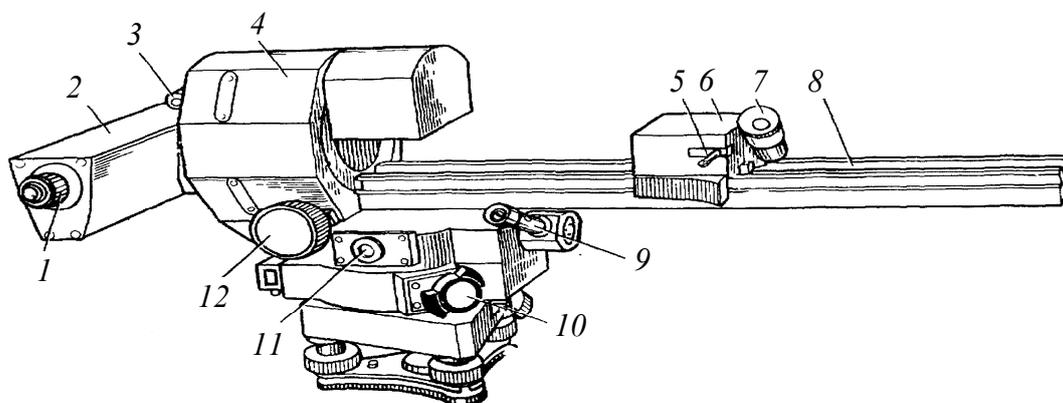


Рис. 5. Тахеометр ТВ:

- 1 – окуляр; 2 – зрительная труба, 3 – оптический визир; 4 – колонка; 5 – рукоятка;  
 6 – подвижная каретка; 7 – лупа; 8 – базовая шина; 9 – микроскоп,  
 10 – закрепительное устройство горизонтального круга;  
 11 – оптический центр; 12 – наводящее устройство

В настоящее время при проведении геодезических работ широкое распространение получают электронные тахеометры.

Электронный тахеометр – геодезический прибор, объединяющий электронный теодолит, светодальномер, регистрирующие и вычислительные устройства, блок памяти и передачи информации. Совмещение в одном электронном приборе дальномера и теодолита позволяет автоматизировать основные геодезические операции процесса измерений и получать в течение долей секунды на дисплее прибора следующие значения:  $D$  – наклонное расстояние;  $\nu$  – угол наклона;  $\beta$  – горизонтальный угол (правый или левый), отсчитанный от выбранного начального направления.

Современный уровень оптико-электронного приборостроения обеспечивает высокую точность, качество и быстроту измерений тахеометрами, поэтому они получили особую популярность, практически вытеснив из геодезического производства традиционные приборы.

Электронный тахеометр приводится в рабочее положение с помощью встроенного оптического центрира, подъемных винтов подставки, круглого и цилиндрического уровней. В процессе измерений наклон вертикальной оси прибора дополнительно отслеживает двухосевой датчик в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За наклон оси автоматически вводятся поправки в отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругу в каждое направление.

Современные модели тахеометров имеют функцию лазерного целеуказателя, позволяющую видеть лазерный луч при наведении на точки объекта и существенно упрощать разбивочные работы.

В комплект электронного тахеометра входит следующее оборудование – кабель для передачи исходной информации с компьютера в память прибора, а файлов измерений – с тахеометра на компьютер или принтер; отражательная призма с визирной маркой, набор призм; крепление для системы призм; трегер (штатив), оптический центрир или адаптер трегера с оптическим центриром; комплект пленочных отражателей; штативы; вехи с уровнем для установки призмы, подпорки для вехи (бипод); зарядное устройство для аккумуляторов; кабель для подключения к внешним источникам питания.

Электронные тахеометры выпускают и поставляют на рынок многие ведущие приборостроительные компании мира: Trimble, Sokkia, Leica, Nikon, Topcon, Pentax и др. Распространены российские тахеометры типа 3Та5 (УОМЗ), начат выпуск их новой модели 4Та5. Большинство современных тахеометров выполняют измерения на призму с дальностью до 1–5 км, а также в безотражательном режиме с дальностью до 70–350 м. Среднеквадратическая погрешность измерения углов тахеометром типа 3Та5Р составляет 5".

Электронные тахеометры серии ЗТа5 широко распространены в полевых геодезических работах и неплохо зарекомендовали себя в суровых климатических условиях. Приборы модернизируются, имеется их полярный вариант. Тахеометры используют комплектующие (штативы, подставки, стантовые винты, отражатели), применяемые во всех других отечественных приборах. Электронный тахеометр ЗТа5РМ представлен на рис. 6.

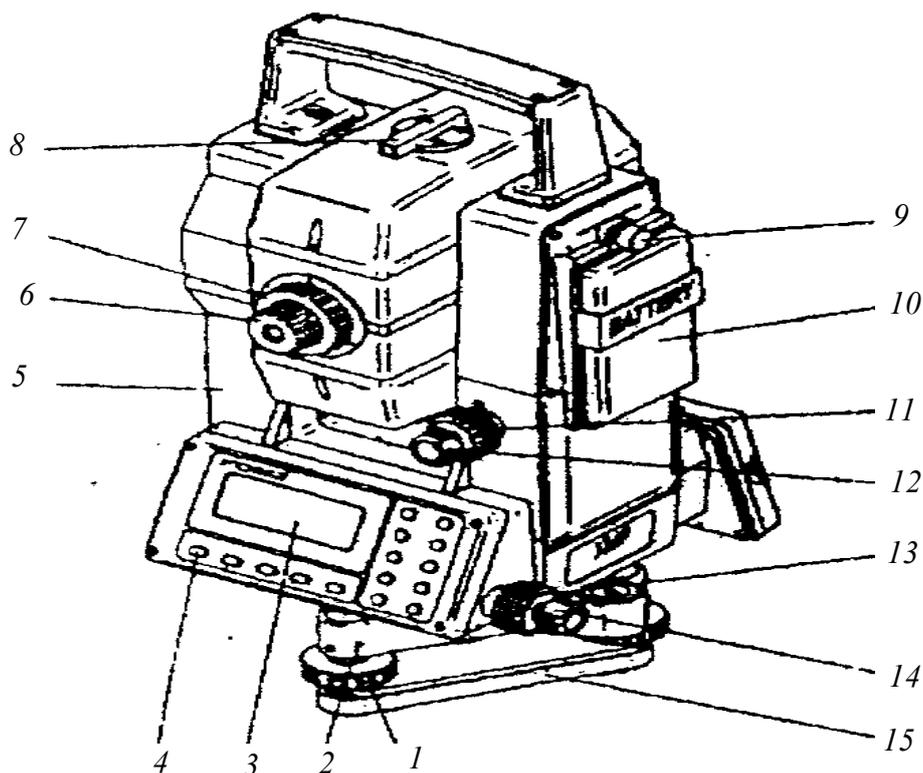


Рис. 6. Тахеометр ЗТа5РМ:

1 – подъемные винты подставки; 2 – регулирующий винт; 3 – дисплей;  
4 – клавиатура; 5 – колонка прибора; 6 – окуляр зрительной трубы, 7 – кольцо кремальеры; 8 – коллиматорный визир, 9 – винт отсека, 10 – отсек кассетного источника питания; 11 – наводящий винт трубы; 12 – закрепительный винт трубы; 13 – круглый уровень; 14 – закрепительный и наводящий винты алидады; 15 – подставка.

В последнее время при проведении геодезических работ широко используются электронные тахеометры компании Trimble, разработанные с учетом всех основных требований, предъявляемых геодезистами к электронным тахеометрам. Представленный на рис. 7 электронный тахеометр Trimble M3 позволяет проводить измерения в безотражательном режиме с дальностью до 5000 м на однопризменный отражатель, при этом средне-

квадратическая погрешность измерения углов может составлять 3" или 5" в зависимости от модификации.

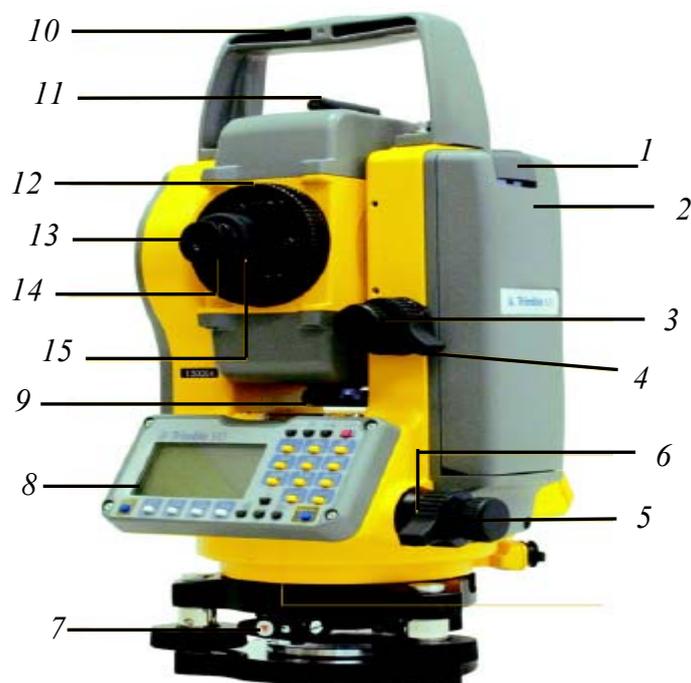


Рис. 7. Тахеометр Trimble M3:

1 – кнопка фиксатора батареи; 2 – батарея; 3 – винт точной наводки по вертикали; 4 – закрепительный винт; 5 – винт точной наводки по горизонтали; 6 – закрепительный винт; 7 – головка зажима трегера; 8 – экран и клавиатура; 9 – цилиндрический уровень; 10 – ручка для переноски; 11 – визир предварительной наводки (видоискатель); 12 – фокусировка зрительной трубы; 13 – окуляр зрительной трубы; 14 – кольцо фокусировки; 15 – крышка пластины визирных нитей

Тахеометрическая съемка выполняется теодолитами или тахеометрами с использованием тахеометрических или нивелирных реек.

### 1.3. Особенности тахеометрической съемки

В зависимости от назначения тахеометрическая съемка бывает *маршрутная* (для проектирования линейных сооружений – дорог, осушительных каналов и др.) и *площадная* (съемка отдельного участка).

Маршрутная тахеометрическая съемка полосы местности производятся, например, для проектирования линейного сооружения *AB* (участка дороги, мелиоративных каналов и т. п.) (рис. 8). В этом случае съемку местности начинают с проложения примерно посередине полосы заданного маршрута, например теодолитно-нивелирного хода

1–2–3–4–5 между твердыми пунктами I и III. Сторону 1–2 прокладывают в плановом отношении привязывают к твердой стороне III–IV. Плановые координаты точек хода 1, 2, ..., 5 вычисляют так же, как и при теодолитной съемке. При помощи нивелира (или теодолита с цилиндрическим уровнем на зрительной трубе) определяют превышения между точками хода.

После вычисления плановых ( $x$  и  $y$ ) координат точек хода 1, 2, ..., 5 и их высот ( $H$ ) приступают к съемке местности в заданной полосе. Речные точки должны покрывать всю площадь съемки без пропусков характерных точек местности. Во избежание пропусков границы съемки между соседними станциями следует сверять по абрисам смежных станций.

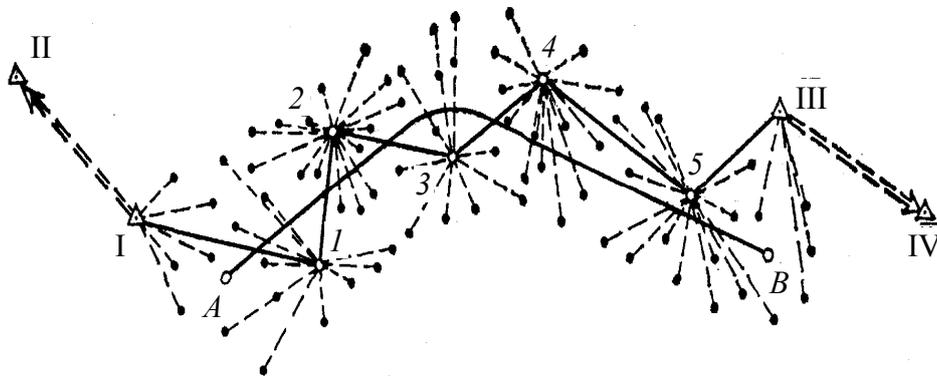


Рис. 8. Маршрутная тахеометрическая съемка

При тахеометрической съемке отдельного участка местности прокладывают замкнутый теодолитно-высотный ход, а если участок небольшой, то теодолитно-тахеометрический ход. При необходимости для съемки ситуации внутри полигона прокладывают диагональные ходы. Если вблизи снимаемого участка нет пунктов с известными координатами, то в этом случае съемочную опорную сеть ориентируют по истинному меридиану.

Съемочным планово-высотным обоснованием для тахеометрической съемки служат теодолитно-нивелирные, теодолитно-высотные и теодолитно-тахеометрические ходы, которые, если предоставляется возможность, привязывают в плановом и высотном отношении к пунктам разных классов триангуляции, полигонометрии геодезических сетей местного значения 1-го и 2-го разрядов, а также к реперам технического нивелирования.

При проложении *теодолитно-нивелирных ходов* расстояния между пунктами хода измеряют землемерными лентами или соответст-

вующими им по точности дальномерами, горизонтальные углы – теодолитами, а превышения – геометрическим нивелированием.

При проложении *теодолитно-высотных ходов* расстояния между пунктами хода и горизонтальные углы измеряют так же, как и в теодолитно-нивелирных ходах, а превышения – тригонометрическим нивелированием в прямом и обратном направлениях между каждыми двумя смежными вершинами хода. Расхождение этих превышений не должно быть больше  $\pm 0,04$  м на 100 м расстояния.

В *теодолитно-тахеометрических ходах* горизонтальные углы измеряют так же, как и в теодолитно-высотных ходах, а длины сторон хода определяют при помощи нитяного дальномера в прямом и обратном направлениях с относительной погрешностью приблизительно 1 : 400. Превышения в теодолитно-тахеометрическом ходе измеряют тригонометрическим нивелированием, при этом вертикальный угол между смежными вершинами хода определяют при двух положениях вертикального круга (при КП и КЛ) дважды – в прямом и обратном направлениях. Величина МО, вычисленная по отсчетам П и Л, не должна отличаться от значения МО, найденного предварительно, более чем на  $2t$  ( $t$  – точность отсчетного устройства). Расхождение прямого и обратного превышений не должно быть больше  $\pm 0,06$  м на 100 м расстояния.

При проложении таких ходов их длины и максимальное число сторон устанавливается по табл. 1.

Таблица 1

**Требования к теодолитным ходам**

Масштаб съемки	Максимальная длина, м		Наибольшее число сторон в ходе
	хода	стороны	
1 : 5000	1200	300	6
1 : 2000	600	200	5
1 : 1000	300	150	3
1 : 500	200	100	2

При тахеометрической съемке выделяют два вида точек: *станция* – точка съемочного обоснования, над которой центрируется прибор, использующийся для тахеометрической съемки; *речная точка (съемочный пикет)* – точка, предназначенная для съемки ситуации и рельефа местности, на которую устанавливают тахеометрическую или нивелирную рейку.

Все станции отмечаются на местности (рис. 9). Съемочные пикеты на местности ничем не отмечаются.

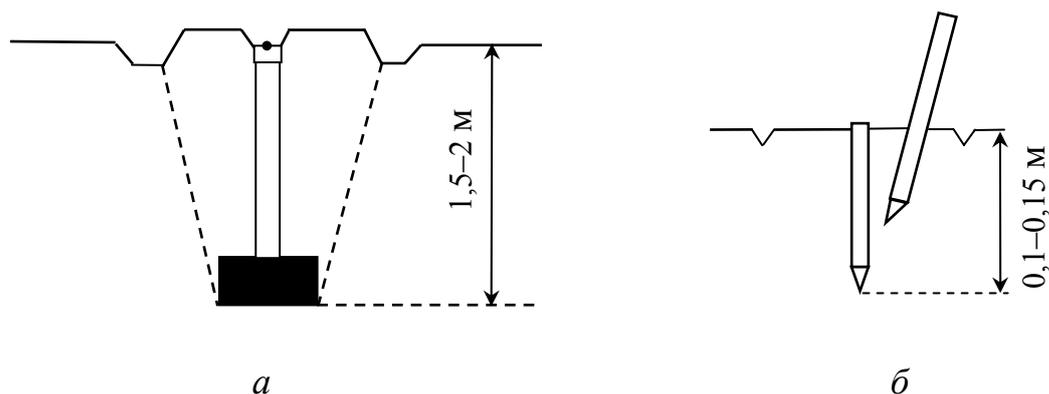


Рис. 9. Закрепление на местности пунктов съемочного обоснования:  
*a* – пункт полигонометрии; *б* – теодолитная точка

При тахеометрической съемке, связанной с инженерными изысканиями, тахеометрический ход прокладывают примерно там, где должна проходить ось будущего сооружения.

Станции выбираются по возможности на открытом месте, с них должны быть непосредственно видны кругом детали местности, подлежащие съемке.

Естественно выбирать в качестве станции для инструмента пункты на возвышенных местах, но в некоторых случаях приходится отступать от этого правила. В частности, при съемке оврага выгодно выбирать станцию на бровке оврага. В связи с этим за станцию нередко бывает выгодно принимать не пункт поворота магистрали и даже не точку, лежащую вообще на магистрали, а точку, находящуюся в стороне от нее. Такую точку нужно связать с магистралью добавочным ходом, направлением или методом засечек.

После этого производят съемку ситуации и рельефа. Особенно важное значение при тахеометрической съемке имеет правильный выбор съемочных пикетов. С каждой станции хода полярным способом снимают реечные точки; при этом вначале определяют те из них, по которым можно построить на плане контуры ситуации, потом снимают высотные точки, необходимые для изображения рельефа горизонталями.

Пикетов должно быть взято столько и они должны быть расположены с таким расчетом, чтобы набранные отметки вполне охарактеризовали рельеф снятой местности и чтобы по этим отметкам точек можно было вычислить отметку любой другой точки местности, на которой рейка не ставилась. Поэтому пикеты должны быть выбраны настолько близко друг к другу, чтобы местность между парой соседних пикетов имела постоянный уклон (без перегибов).

Пикеты должны быть расположены по всем характерным линиям рельефа местности, составляющим его остов: по тальвегам, водоразделам, основным направлениям и т. д.

Пикеты берутся на всех вершинах холмов, на дне впадин, по подошве холмов и впадин, по бровкам оврагов, террас и т. д.

Одновременно пикеты должны дать возможность изобразить существенные контуры местности: реки, дороги, границу леса, здания и т. д.

Очень важным является вопрос о степени густоты пикетов. Она зависит, прежде всего, от характера рельефа. Сложный, сильно расчлененный рельеф требует пикетов гораздо больше, чем спокойный. Однако при всей сложности рельефа нужно учитывать масштаб плана. Желательно, чтобы на 1 см<sup>2</sup> плана было не больше четырех-пяти пикетов даже при очень трудном рельефе. При среднем рельефе на 1 см<sup>2</sup> достаточно одного пикета, а при легком рельефе – еще реже.

Густота речных точек определяется сложностью ситуации и рельефа, но предельные расстояния между ними не должны быть больше указанных в табл. 2.

Таблица 2

**Требования к выбору речных точек при тахеометрической съемке**

Масштаб съемки	Сечение рельефа, м	Максимальное расстояние между пикетами, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки при съемке рельефа, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки при съемке контуров, м
1 : 5000	0,5	60	250	150
	1,0	80	300	150
	2,0	100	350	150
	5,0	120	350	150
1 : 2000	0,5	40	200	100
	1,0	40	250	100
	2,0	50	250	100
1 : 1000	0,5	20	150	80
	1,0	30	200	80
1 : 500	0,5	15	100	60
	1,0	15	150	60

Так как пикеты на местности ничем не обозначаются, то очень важно, чтобы на плане не оказалось мест с неосвещенным рельефом. Для этого оставляют рейку на пикете, находящемся впереди хода на границе областей, снимаемых с двух станций, вплоть до перехода инструмента на следующую станцию, для которой эта рейка делается задней.

Для того чтобы не оставить неснятыми те или иные участки земной поверхности, нужно придерживаться правила избирать границей съемки с данной станции какую-либо естественную или искусственную линию местности, хорошо заметную в натуре.

В необходимых случаях следует ставить легкие знаки с соответствующей надписью.

При организации работ следует иметь в виду, что размещение реек по пикетам является важным моментом работы.

За него отвечает бригадир, лично руководя расстановкой реечников, давая соответствующие указания.

При этом в расстановке реек должна быть определенная продуманная система. Так, рейку можно направить по дороге, по тальвегу, по бровке оврага или террасы, по водоразделу, по гребню, по берегу реки и т. д. Возможна и иная система.

На измерительные действия, связанные со съемкой одного пикета, уходит около одной минуты (на близкие пикеты меньше).

При съемке, рассчитанной на крупный масштаб, расстояние между соседними пикетами должно быть весьма незначительно, особенно при наличии сложного рельефа.

В таком случае на переходы от пикета к пикету времени нужно немного, и поэтому при съемке вполне достаточно двух реек. В некоторых случаях хватает одной рейки.

Наоборот, при более мелком масштабе полезно бывает число реек увеличивать до четырех и более для ускорения работы.

В процессе съемки бригадир расставляет реечников, сам производит некоторые работы по определению положения точек, лежащих вблизи выставленной рейки, и делает различные промеры, например, определение ширины дороги, ручья, насыпей или валов, высоты некоторых предметов над землей и т. д.

При тахеометрической съемке ведется журнал, в котором указываются результаты измерения горизонтальных и вертикальных углов, расстояний и превышений между точками съемочного обоснования и на каждой станции добавляются результаты наблюдений пикетов. В графе примечаний делаются зарисовки и пометки, характеризующие снимаемую местность.

Образец журнала тахеометрической съемки представлен в табл. 3 (см. с. 24).

В течение каждого дня полевой работы набирается множество пикетов, снятых одним тахеометром (в практике зарегистрировано до 600 пикетов в день). Поэтому одних пометок, сделанных в тахеометрическом

журнале, недостаточно для полной характеристики той местности, на которой были взяты пикеты. В таком случае одновременно с тахеометрическими журналами составляется специальный чертеж, на котором изображаются основные черты снимаемой местности с показанием всех взятых пикетов. Такой чертеж, составляемый на глаз в довольно крупном масштабе, называется *кроки*. Кроки ведется или на отдельных для каждой станции листах, или на общем листе. На кроки показывается соответствующая часть тахеометрического хода.

Существуют разные формы ведения кроки. В одной из них (рис. 10) показываются стрелками направления покатости, причем, как правило, при помощи этих линий вся местность покрывается сетью треугольников; в пределах каждого из них покатость можно принимать за плоскость. Эти линии будут играть существенную роль при проведении горизонталей на плане.

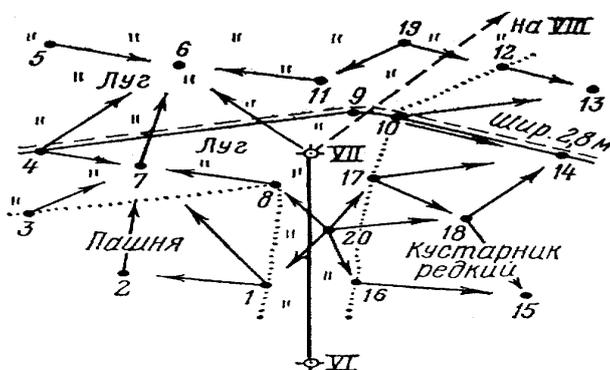


Рис. 10. Кроки (абрис) тахеометрической съемки с указанием направления скатов

На характерных местах (оврагах, хребтах, холмах, впадинах, седловинах и т. д.) показывается, какую примерно форму должны иметь в этом месте горизонталей (рис. 11).

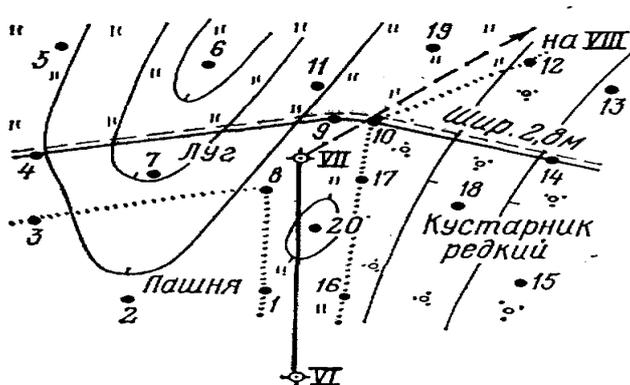


Рис. 11. Кроки (абрис) тахеометрической съемки в горизонталях

Такая форма кроки является довольно удобной для последующих камеральных работ, но она требует опытного исполнителя.

Для контроля работ при съемке нужен прежде всего учет числа поставленных пикетов. Чаще всего ведут сквозную нумерацию, т. е. если на первой станции взяли 17 пикетов, то на второй станции начинают с 18-го пикета, причем в этом случае и в тахеометрическом журнале, и в кроки подчеркивают номер последнего пикета, взятого на каждой станции. Для того чтобы не спутать на кроки и плане, какой пикет с какой станции взят, нужно начинать на каждой станции расстановку пикетов с задней станции по ходу части территории, расположенной вокруг станции. Также можно обозначать пикеты поочередно: на одной станции – арабскими цифрами, на следующей станции – латинскими буквами.

Пикеты, имеющие особенно важное значение, нужно определять методом двойных измерений. Некоторые пикеты, находящиеся на границе двух областей, снимаемых с двух соседних станций, полезно снимать для контроля и с той, и с другой станции.

Нумерацию пикетов необходимо все время сверять. Обязательной должна быть проверка каждого 10-го, 20-го и т. д. пикетов. При всяком сомнении, а также при съемке особо важных пикетов нужно делать сверку с визированием на пикет и при окончании работ на станции.

При большом числе пикетов, приходящемся на одну станцию, следует время от времени проверять ориентировку лимба. Прежде чем снимать инструмент со станции, необходимо сверить составленный кроки с тахеометрическим журналом, в котором должны быть сделаны к этому времени все нужные расчеты, вплоть до предварительных значений превышений. Визуально сопоставляя кроки с местностью и расставленными пикетами, инженер сравнивает превышения, вычисленные в журнале, с действительностью и кроки в целях выявления грубых промахов, если таковые имели место в процессе работы.

Лишь после этого осуществляется переход на следующую станцию.

Таким образом, организация работ должна быть продумана с расчетом на максимальный полевой контроль тахеометрической съемки.

Только при этих условиях удастся избежать необходимости часто-го возвращения с инструментом на станцию и повторения работ.

#### **1.4. Порядок работы на станции тахеометрической съемки**

Перед началом измерений прибор (тахеометр, теодолит) устанавливается над станцией в рабочее положение. Полная установка

прибора в рабочее положение складывается из его центрирования над точкой, горизонтирования и установки зрительной трубы для наблюдений.

*Центрированием* называются действия, в результате которых центр лимба горизонтального круга совмещается с отвесной линией, проходящей через точку стояния прибора. Центрирование может быть выполнено с помощью нитяного отвеса либо оптического центрира.

При центрировании с помощью нитяного отвеса штатив устанавливается так, чтобы отвес оказался приблизительно над точкой, а головка штатива была примерно горизонтальна. Затем, ослабив становой винт, теодолит перемещают по головке штатива до положения, когда острие отвеса будет находиться над центром точки; после этого становой винт закрепляют. При центрировании с помощью оптического центрира прибор перемещают по головке штатива до тех пор, пока в поле зрения центрира центр точки (например, шляпки гвоздя в торце колышка) не совпадет с центром сетки нитей.

*Горизонтирование* прибора заключается в приведении оси его вращения в отвесное положение, а плоскости лимба – в горизонтальное положение. Предварительное горизонтирование прибора грубо достигается при установке штатива, а точное приведение выполняется подъемными винтами с использованием предварительно поверенного цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга.

*Установка зрительной трубы для наблюдений* включает в себя установку трубы и отсчетного микроскопа по глазу наблюдателя и по предмету, т. е. фокусирование трубы по наблюдаемой цели.

После приведения прибора в рабочее положение на станции тахеометрической съемки выполняются следующие действия:

– измеряют с погрешностью не более 0,5 см высоту прибора ( $i$ ) (вертикальное расстояние от верха колышка до оси вращения зрительной трубы тахеометра), отмечают ее на рейках и записывают в журнал;

– при положении теодолита круг право (КП) наводят зрительную трубу последовательно на заднюю и переднюю точки, где установлены рейки, и делают отсчеты по дальномеру, горизонтальному и вертикальному кругам. Средний (горизонтальный) штрих сетки нитей зрительной трубы наводят на высоту прибора ( $i$ ), отмеченного на рейке;

– далее переводят зрительную трубу через зенит, устанавливают его в положение круг лево (КЛ) и ориентируют лимб на одну из точек хода (чаще всего в качестве ориентира выбирают заднюю станцию), т. е. устанавливают отсчет  $0^{\circ}00'$  по горизонтальному кругу, скрепляют лимб с алидадой и, отпустив закрепительный винт лимба, наводят визирную ось зрительной трубы на выбранную (заднюю) точку хода,

закрепляют лимб и проверяют установленный отсчет. Средний (горизонтальный) штрих сетки нитей зрительной трубы наводят на высоту прибора ( $i$ ), отмеченного на рейке. После этого производят и записывают отсчеты по обоим кругам. Вращением алидады зрительной трубой снова визируют на переднюю точку, вторично берут отсчеты по обоим кругам и записывают их в журнал. Здесь же на станции вычисляют МО вертикального круга, углы наклона линии визирования ( $v$ ), превышения ( $h$ ) и горизонтальные проложения ( $d$ ).

После этого приступают к съемке ситуации и рельефа:

– посылают реечника на характерные точки контуров и рельефа, где он ставит рейки. При положении теодолита круг лево и ориентированном лимбе вращением алидады последовательно наводят зрительную трубу на реечные точки, при этом средний (горизонтальный) штрих сетки нитей зрительной трубы наводят на высоту прибора ( $i$ ), отмеченную на рейке, делают отсчеты по дальномеру, горизонтальному и вертикальному кругам и записывают их в журнал.

– по окончании съемки на станции зрительную трубу прибора вновь наводят на заднюю точку хода, чтобы проверить ориентирование лимба прибора, и определяют отсчет по горизонтальному кругу. Если отсчет отличается от начального значения ( $0^{\circ}00'$ ) более чем на  $5'$ , съемку на этой станции переделывают. Для контроля на каждой станции определяют несколько пикетов на полосе съемки ее смежной станции.

## 2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Общая характеристика съемочных работ на участке местности

Участок местности, на который необходимо составить топографический план, изображен на рис. 12.

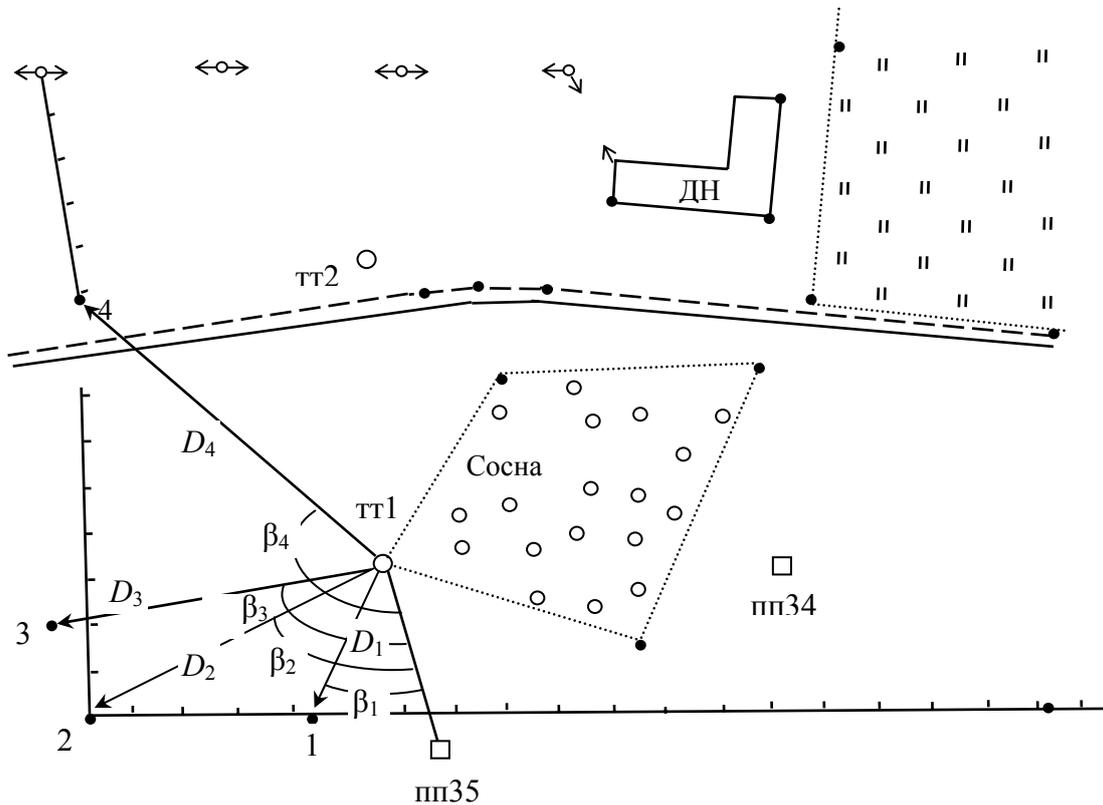


Рис. 12. Перспективная схема участка съемки

Тахеометрическая съемка производилась относительно пунктов съемочного обоснования, представленных пунктами полигонометрии пп34 и пп35 и вершинами теодолитного хода тт1 и тт2 (рис. 13).

При проведении тахеометрической съемки со станции тт1 нивелирную рейку последовательно ставят на точки местности 1, 2, 3 ... и каждый раз при помощи теодолита определяют их полярные координаты: горизонтальный угол  $\beta$ , отсчитанный от направления тт1–пп35, расстояние до рейки  $d$  и превышение  $h$ , для вычисления которых берутся отсчеты по нитяному дальномеру и по угломерным кругам теодолита. Значения названных отсчетов записывают в журнал тахеометрической съемки. На абрисе (рис. 14) приближенно изображают



Таблица 3

## Журнал тахеометрической съемки

№ точки	Высота наведения, $v$	Дальномер $D$ , м	Круг	Отсчеты по кругу		Угол наклона $\pm v$	Горизонтальное проложение $d$ , м	Превышение, м			Отметки съемочных пикетов, $H_{сп}$ , м	Горизонтальные углы $\beta$ . Примечания
				горизонтальному (ГК)	вертикальному (ВК)			$\pm h'$	$i - v$	$\pm h = h' + i - v$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
СТАНЦИЯ ПП35												
$I = 1,34$ м				МО = $0^{\circ}01'$				$H_{ст} = 53,98$ м				
ПП34	1,34	–	П	$164^{\circ}12'$	–	–	–	–	–	–	–	$\beta' = 63^{\circ}06'$
ТТ1	»	69,28	П	$101^{\circ}06'$	$177^{\circ}37'$	–	–	–	–	–	–	$\beta'' = 63^{\circ}04'$
ПП34	»	–	Л	$276^{\circ}38'$	–	–	–	–	–	–	–	$\beta_1 = 63^{\circ}05'$
ТТ1	»	69,28	Л	$213^{\circ}34'$	$2^{\circ}25'$	$2^{\circ}24'$	69,16	2,90	0	2,90	–	–
СТАНЦИЯ ТТ1      Ориентирование на пп 35												
$I = 1,38$ м				МО = $0^{\circ}02'$				$H_{ст} = 56,92$ м				
ПП35	1,38	69,28	П	$276^{\circ}57'$	$182^{\circ}31'$	–	–	–	–	–	–	$\beta' = 145^{\circ}54'$
ТТ2	»	–	П	$131^{\circ}03'$	$180^{\circ}01'$	–	–	–	–	–	–	$\beta'' = 145^{\circ}54'$
ПП35	»	69,28	Л	$0^{\circ}00'$	$357^{\circ}33'$	$-2^{\circ}29'$	69,15	-3,00	0	-3,00	–	$\beta_2 = 145^{\circ}54'$
ТТ2	»	81,02	Л	$214^{\circ}06'$	$0^{\circ}03'$	$0^{\circ}01'$	81,02	0,02	0	0,02	–	–
1	»	60,5	Л	$44^{\circ}15'$	$0^{\circ}20'$	$0^{\circ}18'$	60,50	0,32	0	0,32	57,24	Забор дер.
2	»	95,8	Л	$74^{\circ}30'$	$1^{\circ}24'$	$1^{\circ}22'$	95,75	2,28	0	2,28	59,20	Угол забора

Таблица 4

## Исходные данные

Номер варианта	Отсчеты по вертикальному кругу для речных точек		Отметки станций $H$ , м		Дирекционный угол $\alpha_{34-35}$	Координаты пунктов полигонометрии			
						пп 35		пп 34	
	5	6	пп 35	пп 35		$X_{35}$	$Y_{35}$	$X_{34}$	$Y_{34}$
1	177°03'	175°56'	54,02	60,00	200°11'	2052,25	1511,50	2152,16	1548,23
2	177°25'	176°27'	55,34	61,39	200°47'	2062,64	1510,46	2162,16	1548,23
3	178°53'	178°28'	56,62	62,61	201°23'	2073,04	1509,42	2172,16	1548,23
4	177°24'	176°25'	57,92	63,91	201°59'	2058,45	508,38	2157,16	1548,23
5	177°59'	177°14'	58,32	64,40	202°35'	2068,87	1507,35	2167,16	1548,23
6	177°48'	176°58'	59,62	65,62	203°11'	2054,30	1506,32	2152,16	1548,23
7	177°21'	176°21'	60,92	66,98	203°47'	2064,75	1505,30	2162,16	1548,23
8	177°08'	176°03'	61,42	67,41	204°23'	2075,21	1504,28	2172,16	1548,23
9	177°13'	176°10'	62,92	68,99	204°59'	2060,67	1503,27	2157,16	1548,23
10	177°23'	176°24'	64,42	70,40	205°35'	2071,15	1502,25	2167,16	1548,23
11	177°31'	176°35'	65,02	71,00	206°11'	2056,63	1501,25	2152,16	1548,23
12	177°40'	176°47'	66,52	72,60	207°31'	2067,75	1499,05	2162,16	1548,23
13	177°51'	177°02'	67,42	73,49	208°51'	2078,92	1496,86	2172,16	1548,23
14	177°55'	177°08'	68,93	74,97	210°11'	2065,14	1494,71	2157,16	1548,23
15	178°03'	177°19'	70,42	76,41	211°31'	2076,41	1492,58	2167,16	1548,23
16	178°09'	177°27'	71,02	77,09	212°51'	2062,73	1480,49	2152,16	1548,23
17	178°13'	177°33'	72,52	78,58	214°11'	2059,10	1488,42	2147,16	1548,23
18	178°27'	177°52'	74,02	80,01	215°31'	2070,52	1486,39	2157,16	1548,23
19	178°14'	177°34'	74,32	80,31	216°51'	2056,98	1484,39	2142,16	1548,23
20	178°24'	177°48'	75,82	81,83	218°11'	2068,49	1482,43	2152,16	1548,23

Продолжение табл. 4

Номер варианта	Отсчеты по вертикальному кругу для реечных точек		Отметки станций $H$ , м		Дирекционный угол $\alpha_{34-35}$	Координаты пунктов полигонометрии			
	5	6	пп 35			пп 35		пп 34	
			$X_{35}$	$Y_{35}$		$X_{34}$	$Y_{34}$		
21	178°33'	178°05'	77,32	83,33	219°31'	2050,04	1480,50	2132,16	1548,23
22	178°38'	178°07'	78,82	84,88	220°51'	2061,64	1478,60	2142,16	1548,23
23	178°44'	178°15'	79,12	85,19	222°11'	2073,28	1476,75	2152,16	1548,23
24	178°51'	178°25'	80,62	86,68	223°31'	2059,97	1474,93	2137,16	1548,23
25	177°05'	175°59'	81,52	87,51	224°51'	2071,69	1473,16	2147,16	1548,23
26	177°13'	176°10'	82,72	88,72	226°11'	2048,46	1471,42	2122,16	1548,23
27	177°17'	176°16'	83,92	89,98	227°31'	2060,27	1469,73	2132,16	1548,23
28	177°22'	176°22'	85,12	91,11	228°51'	2072,14	1468,08	2142,16	1548,23
29	177°28'	176°31'	86,32	92,33	230°11'	2059,00	1466,47	2127,16	1548,23
30	177°30'	176°33'	87,52	93,52	231°11'	2070,92	1464,90	2137,16	1548,23
31	177°33'	176°38'	88,72	94,79	232°51'	2052,87	1463,38	2117,16	1548,23
32	177°37'	176°43'	89,92	95,98	234°11'	2064,87	1461,91	2127,16	1548,23
33	177°42'	176°50'	91,12	97,12	235°31'	2051,89	1460,48	2112,16	1548,23
34	177°48'	176°58'	92,32	98,32	236°51'	2063,95	1459,10	2122,16	1548,23
35	177°53'	177°05'	93,52	99,51	238°11'	2076,04	1457,78	2132,16	1548,23
36	177°57'	177°11'	74,32	80,31	239°31'	2063,16	1456,49	2117,16	1548,23
37	177°41'	176°49'	85,92	91,98	200°38'	2062,54	1510,72	2162,16	1548,23
38	177°26'	176°28'	56,42	59,42	203°03'	2054,21	1506,55	2152,16	1548,23
39	177°04'	175°58'	52,82	58,82	203°39'	2064,65	1505,53	2162,16	1548,23
40	177°10'	176°06'	52,22	58,21	204°15'	2075,10	1504,51	2172,16	1548,23

Окончание табл. 4

Номер варианта	Отсчеты по вертикальному кругу для реечных точек		Отметки станций $H$ , м		Дирекционный угол $\alpha_{34-35}$	Координаты пунктов полигонометрии			
	5	6	пп 35			пп 35		пп 34	
			$X_{35}$	$Y_{35}$		$X_{34}$	$Y_{34}$		
41	177°15'	176°13'	51,62	57,08	205°27'	2071,04	1502,49	2167,16	1548,23
42	177°19'	176°18'	51,02	57,08	205°27'	2071,04	1502,49	2167,16	1548,23
43	177°25'	176°27'	50,42	56,42	206°03'	2056,52	1501,48	2152,16	1548,23
44	177°29'	176°32'	49,82	55,81	207°01'	2067,33	1499,88	2162,16	1548,23
45	177°35'	176°40'	49,22	55,28	208°21'	2078,48	1497,68	2172,16	1548,23
46	177°39'	176°42'	48,62	54,61	209°41'	2064,68	1495,52	2157,16	1548,23
47	177°45'	176°54'	48,02	54,02	211°01'	2075,93	1493,38	2167,16	1548,23
48	177°56'	177°09'	47,42	53,48	212°22'	2062,25	1491,24	2152,16	1548,23
49	178°15'	177°35'	46,82	52,89	213°41'	2073,58	1489,19	2162,16	1548,23
50	178°31'	177°58'	46,22	52,21	215°11'	2085,16	1486,89	2172,16	1548,23
51	178°46'	178°18'	45,62	51,69	216°21'	2071,42	1485,14	2157,16	1548,23
52	178°14'	177°34'	74,32	80,31	215°31'	2070,52	1486,39	2157,16	1548,23
53	178°24'	177°48'	55,34	61,39	210°11'	2065,14	1494,71	2157,16	1548,23
54	178°53'	178°28'	62,92	68,98	214°11'	2059,10	1488,42	2147,16	1548,23
55	177°48'	176°58'	58,32	64,40	211°31'	2076,41	1492,58	2167,16	1548,23
56	177°21'	176°21'	54,02	60,00	208°51'	2078,92	1496,86	2172,15	1548,23
57	177°40'	176°47'	61,42	67,41	205°35'	2071,15	1502,25	2167,15	1548,23
58	177°51'	177°02'	66,52	72,60	212°51'	2062,73	1490,49	2152,16	1548,23
59	177°15'	176°13'	51,62	57,08	220°42'	2061,79	1470,51	2152,16	1548,23
60	177°19'	176°18'	51,02	57,08	216°35'	2072,90	1481,62	2163,27	1548,23

## 2.2. Вычисление превышений и горизонтальных проложений в журнале тахеометрической съемки

**2.2.1. Вычисление горизонтальных углов.** В столбце 5 журнала тахеометрической съемки (табл. 3) приведены значения отсчетов по горизонтальному кругу для направлений на задний и передний по ходу пункты съёмочного обоснования. Например, при установке теодолита над пунктом пп35 (станция пп35) при визировании на заднюю точку пп34 при положении вертикального круга КП (первая строка на станции пп35) отсчет по горизонтальному кругу  $Z = 164^{\circ}12'$ , а при визировании на переднюю точку тт1 отсчет  $\Pi = 101^{\circ}06'$ . Горизонтальный угол вычисляется по формуле

$$\beta = Z - \Pi. \quad (1)$$

При полуприеме КП горизонтальный угол равен  $\beta'_1 = 63^{\circ}06'$  (результат записывается в столбце 13).

При втором полуприеме, выполняемом при положении КЛ, получены отсчеты  $Z = 276^{\circ}38'$  и  $\Pi = 213^{\circ}34'$ . Горизонтальный угол вычисляется по формуле (1). Второе значение угла на станции пп35  $\beta''_1 = 63^{\circ}04'$  (результат записывается в столбце 13).

При измерении горизонтальных углов между сторонами планово-съёмочного 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  $2t$ , где  $t$  – точность отсчетного приспособления. Тахеометрическую съемку в нашем случае проводят с помощью теодолита Т30:  $t = 1'$ . Расхождение между полуприемами на станции пп35 составляет  $\Delta = \beta'_1 - \beta''_1 = 2'$ , допустимое расхождение выполняется.

На станции пп35 вычисляют среднее значение горизонтального угла как среднеарифметическое между двумя полуприемами:  $\beta_1 = 63^{\circ}05'$ , оно принимается за результат измерения и его записывают в столбце 13.

Теодолитная точка тт1 (станция тт1) является вершиной угла  $\beta_2$  (см. рис. 14). По данным первого полуприема (КП)

$$\beta'_2 = Z'_{пп35} - \Pi'_{тт2} = 276^{\circ}57' - 131^{\circ}03' = 145^{\circ}54',$$

по данным второго полуприема (КЛ)

$$\beta''_2 = Z''_{пп35} - \Pi''_{тт2} = 0^{\circ}00' - 214^{\circ}06' = 360^{\circ}00' - 214^{\circ}06' = 145^{\circ}54',$$

$$\Delta = \beta'_2 - \beta''_2 = 0',$$

$$\beta_2 = (\beta'_2 + \beta''_2) / 2 = (145^\circ 54' + 145^\circ 54') / 2 = 145^\circ 54'.$$

Результаты вычислений записываются в столбце 13 для станции тт1.

Аналогично вычисляются углы  $\beta_3$  и  $\beta_4$  в вершинах тт2 и пп34 планово-съёмочного обоснования.

**2.2.2. Вычисление углов наклона.** Для каждой станции после центрирования и горизонтирования прибора вычисляют место нуля (МО) вертикального круга.

*Место нуля (МО) – отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы и оси цилиндрического уровня при вертикальном круге.*

В хорошо отъюстированном теодолите МО близко или равно  $0^\circ 00'$  и может приниматься равным  $360^\circ$ .

Место нуля (МО) вычисляют по отсчетам, полученным при визировании зрительной трубой теодолита на одну и ту же точку при положении КП и КЛ.

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  $360^\circ$  (теодолит Т30), или секторной – от 0 до  $+90^\circ$  и от 0 до  $-90^\circ$  (теодолиты 2Т30, 2Т30П).

При проведении тахеометрической съёмки теодолитом Т30 для вычисления МО используются следующие формулы:

$$\text{МО} = (\text{Л} + \text{П} - 180) / 2, \quad (2)$$

$$\text{МО} = (\text{Л} + \text{П} - 540) / 2, \quad (3)$$

где Л – отсчет по вертикальному кругу теодолита, взятый при положении прибора КЛ; П – отсчет по вертикальному кругу теодолита, выполненный при положении прибора КП.

Для теодолита 2Т30 (2Т30П) МО вычисляют по формуле

$$\text{МО} = (\text{Л} + \text{П}) / 2. \quad (4)$$

В нашем случае на станции пп35 при визировании на точку тт1 в положении КЛ отсчет по вертикальному кругу  $\text{Л} = 2^\circ 25'$ , а в положении КП отсчет по вертикальному кругу  $\text{П} = 177^\circ 37'$ . Место нуля (МО) вычисляют по формуле (2):

$$\text{МО} = (\text{Л} + \text{П} - 180) / 2 = (2^\circ 25' + 177^\circ 37' - 180) / 2 = 0^\circ 02' / 2 = 0^\circ 01'.$$

Полученное значение  $MO = 0^{\circ}01'$  записывают в подзаголовке станции пп35 (см. табл. 3).

Для станции тт1  $MO$  можно вычислять по отсчетам  $L = 180^{\circ}01'$  и  $P = 0^{\circ}03'$ , прибегнув к формуле (2), а также можно использовать отсчеты  $L = 182^{\circ}31'$  и  $P = 357^{\circ}33'$ , применяя формулу (3).

$$MO = (L + P - 180) / 2 = (0^{\circ}03' + 180^{\circ}01' - 180) / 2 = 0^{\circ}04' / 2 = 0^{\circ}02',$$
$$MO = (L + P - 180) / 2 = (182^{\circ}31' + 357^{\circ}33' - 540) / 2 = 0^{\circ}04' / 2 = 0^{\circ}02'.$$

Во всех случаях результат получается равным  $MO = 0^{\circ}02'$ . Это значение  $MO$  записывают в подзаголовке станции тт1.

Формулы для вычисления углов наклона (теодолит Т30, 2Т30, 2Т30П) зависят от численного значения отсчетов по вертикальному кругу ( $L$ ) сделанных при положении КЛ, при этом в формулы может вводиться слагаемое  $180^{\circ}$  или  $360^{\circ}$ .

Если  $0^{\circ} \leq L \leq 90^{\circ}$ , то угол наклона вычисляют по формуле

$$v = L - MO, \quad (5)$$

если  $270^{\circ} \leq L \leq 360^{\circ}$ , то по формуле

$$v = L - (MO + 360^{\circ}), \quad (6)$$

если  $90^{\circ} \leq L \leq 180^{\circ}$

$$v = L - (MO + 180^{\circ}). \quad (7)$$

Например, на станции пп35 для направления на станцию тт1 (см. табл. 3 столбец 6 строка 4)  $L = 2^{\circ}25'$ ,  $MO = 0^{\circ}01'$ , для нахождения угла наклона ( $v$ ) используем формулу (4):

$$v = L - MO = 2^{\circ}25' - 0^{\circ}01' = 2^{\circ}24'.$$

Вычисленное значение угла наклона  $v = 2^{\circ}24'$  указывается в журнале тахеометрической съемки (табл. 3) на станции пп35 в столбце 7 (строка 4).

На станции тт1 для направления на станцию пп35 отсчет  $L = 357^{\circ}33'$ . В данном случае используем формулу (6) и получаем

$$v = L - (MO + 360^{\circ}) = 357^{\circ}33' - (0^{\circ}01' + 360^{\circ}) = -2^{\circ}29'$$

Угол наклона  $v = -2^{\circ}29'$  указывается на станции тт1 в столбце 7 (строка 3).

Углы наклона  $v$  обязательно записываются со знаком + или - .

**2.2.3. Вычисление превышений и горизонтальных проложений по тахеометрическим формулам.** Если наклонное расстояние  $D$  измерено нитяным дальномером, как в нашем случае, то горизонтальное проложение  $d$  и превышения  $h$  вычисляют по формулам:

$$d = D \cdot \cos^2 v, \quad (8)$$

$$h = h' + (i - v), \quad (9)$$

$$h' = (1/2) \cdot D \cdot \sin 2v, \quad (10)$$

где  $d$  – горизонтальное проложение, м;  $D$  – наклонное расстояние от станции до рейки, определенное по нитяному дальномеру, м;  $h$  – превышение, м;  $v$  – угол наклона, °;  $i$  – высота прибора на станции, м;  $v$  – высота наведения, т. е. отсчет по рейке, на который наводился центр сетки нитей зрительной трубы теодолита для того, чтобы снять отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам, м.

Вычисления можно выполнять при помощи инженерного калькулятора или персонального компьютера.

Результаты вычислений  $d$ ,  $h'$ ,  $h$  округляют до 0,01 м.

Например, на станции пп35 для направления на станцию тт1 наклонное расстояние  $D = 69,28$  м, угол наклона  $v = 2^\circ 24'$ . Определяем горизонтальное проложение  $d$ , используя формулу (8)

$$d = D \cdot \cos^2 v = 69,28 \cos^2(2^\circ 24') = 69,28 \cdot 0,99825 = 69,16 \text{ м.}$$

Полученное значение  $d = 69,16$  м записываем на станцию пп35 в столбце 8.

Затем переходим к вычислению превышения  $h$ . На станции пп35 высота прибора  $i = 1,34$  м, высота наведения на станцию тт1  $v = 1,34$  м, наклонное расстояние  $D = 69,28$  м, угол наклона  $v = 2^\circ 24'$ . Вначале по формуле (10) определяем  $h'$ :

$$h' = (1/2)D \cdot \sin 2v = (1/2) \cdot 69,28 \cdot \sin (2 \cdot 2^\circ 24') = 2,90 \text{ м.}$$

На основе вычисленного значения  $h'$  определяем превышение  $h$  между станцией пп35 и станцией тт1, используя формулу (9). Для этого сначала определяют разность  $i - v$  (высота прибора минус высота наведения)  $= 1,34 - 1,34 = 0$  м. Полученное значение записывают в столбце 10 и переходят к вычислению превышения  $h$ :

$$h = h' + (i - v) = 2,90 + 0 = 2,90 \text{ м.}$$

Полученный результат  $h = 2,90$  м, представляет превышение  $h$  между станцией пп35 и станцией тт1, его записывают в журнале тахеометрической съемки (табл. 3) в столбце 11 на станции пп35.

На станции тт1 на для направления на станцию пп35 наклонное расстояние  $D = 69,28$  м, угол наклона  $\nu = -2^{\circ}29'$ , высота прибора  $i = 1,38$  м, высота наведения  $\nu = 1,38$  м. Определяем горизонтальное проложение и превышение между тт1 и пп35:

$$d = D \cdot \cos^2 \nu = 69,28 \cos^2(-2^{\circ}29') = 69,28 \cdot 0,99825 = 69,15 \text{ м,}$$

$$h' = (1/2)D \cdot \sin 2 \nu = (1/2) \cdot 69,28 \cdot \sin (2(-2^{\circ}29')) = -3,00 \text{ м,}$$

$$i - \nu = 1,38 - 1,38 = 0 \text{ м,}$$

$$h = h' + (i - \nu) = -3,00 + 0 = -3,00 \text{ м.}$$

**2.2.4. Вычисление превышений и горизонтальных проложений при помощи тахеометрических таблиц.** Правила пользования таблицами помещены в описании к ним. Рассмотрим несколько примеров работы с тахеометрическими таблицами А. С. Никулина [3] на наших данных.

На станции тт1 для съемочного пикета 3 дальномерное расстояние  $D = 91,1$  м, угол наклона  $\nu = +2^{\circ}06'$ . Открываем таблицы А. С. Никулина на стр. 91 (номер страницы совпадает с численным значением аргумента с шагом 1 м). В наименовании граф таблицы указаны градусы угла наклона, а минуты – в графах « $\nu$ » от 0 до 29' и от 30 до 59'. В графе 2°, строка 6' находим табличную величину  $h'_T = 3,33$  м, но окончательное значение превышения  $h'$  определяем по формуле:

$$h' = h'_T + \Delta h, \quad (11)$$

где  $\Delta h$  – поправка за десятые доли  $\Delta D$  расстояния  $D$ , выбираемая из табл. 5 настоящих методических указаний.

Знак плюс (+) или минус (-) указывается для превышения  $h'$  в соответствии со знаком угла наклона  $\nu$ .

В нашем случае  $\Delta D = 0,1$  м, для угла наклона  $\nu = +2^{\circ}06' \cong 2^{\circ}$  находим  $\Delta h = 0$  м, окончательно  $h' = 3,33 + 0 = +3,33$  м.

Горизонтальное проложение ( $d$ ) наклонной линии вычисляется по формуле:

$$d = D - \Delta d, \quad (12)$$

где  $\Delta d$  – поправка, выбираемая из табл. 6 настоящих методических указаний.

Таблица 5

**Поправки ( $\Delta h$ ) в превышения за десятые доли метра ( $\Delta D$ )  
при расстояниях ( $D$ )**

$\Delta D$ , м	Угол наклона $\nu$ , °									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
0,2	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
0,3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
0,4	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07
0,5	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,6	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
0,7	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12
0,8	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13
0,9	0,01	0,03	0,05	0,08	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15

Таблица 6

**Поправки ( $\Delta d$ ) для вычисления горизонтальных проложений ( $d$ )  
по дальномерным расстояниям ( $D$ )**

$D$ , м	Угол наклона $\nu$ , °									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
20	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
30	0	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9
40	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
50	0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5
60	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8
70	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,1
80	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	2,0	2,4
90	0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,2	2,7
100	0	0,1	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5	1,9	2,4	3,0
110	0	0,1	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6	2,1	2,7	3,3
120	0	0,1	0,3	0,6	0,9	1,3	1,8	2,3	2,9	3,6
130	0	0,2	0,4	0,6	1,0	1,4	1,9	2,5	3,2	3,9
140	0	0,2	0,4	0,7	1,1	1,5	2,1	2,7	3,4	4,2

В нашем случае для применения табл. 6 округляем аргументы  $D \cong 90$  м,  $\nu = +2^{\circ}06' \cong 2^{\circ}$ , определяем  $\Delta d = 0,1$  м и вычисляем  $d = 91,1 - 0,1 = 91,0$  м.

На станции пп34 для съёмочного пикета 15 дальномерное расстояние  $D = 69,8$  м, угол наклона  $\nu = -0^{\circ}59'$ . Из тахеометрических таблиц определяем  $h'_T = -1,15$  м, из табл. 5 и 6 – поправки  $\Delta h = 0,01$  и  $\Delta d = 0$  м. Вычисляем:

$$h' = -(1,15 + 0,01) = -1,16 \text{ м,}$$

$$d = 69,8 - 0 = 69,8 \text{ м.}$$

### 2.3. Вычисление отметок пунктов съемочного обоснования

На производстве высотные координаты пунктов съемочного обоснования определяют либо геометрическим нивелированием, либо по данным тахеометрических измерений. В выполняемом задании для этого используются превышения, полученные по тахеометрической формуле (9) и записанные в столбце 11 журнала тахеометрической съемки (см. табл. 3).

Для вычисления отметок пунктов съемочного обоснования необходимо заполнить ведомость образца табл. 7 и записать в нее отметки  $H$  исходных пунктов пп35 и пп34 соответственно выданному варианту из табл. 4.

Таблица 7

**Уравнивание превышений и вычисление отметок пунктов съемочного обоснования**

Но- мер пунк- тов	Длина стороны $D$ , м	Превышения, м			Поп- равки $v_h$ , м	Урав- ненные превы- шения $h$ , м	Отметки пунктов (станций) $H$ , м
		пря- мые $h_{пр}$	обрат- ные $h_{обр}$	сред- ние $h_{ср}$			
пп 35							53,98
	69,28	2,90	-3,00	2,95	-0,01	2,94	
тт 1							56,92
	81,02	0,02	-0,05	0,04	-0,02	0,02	
тт 2							56,94
	101,13	3,09	-3,09	3,09	-0,03	3,06	
пп 34							60,00

$$\Sigma D = 251,43,$$

$$\Sigma h_{ср} = 6,08,$$

$$\Sigma D_c = 2,51,$$

$$\Sigma h_{теор} = 6,02,$$

$$f_h = 0,06,$$

$$f_{h \text{ доп}} = 0,04 \cdot \Sigma D_c / \sqrt{n} = 0,06$$

В столбце 2 табл. 7 записывают горизонтальные проложения линий между сторонами теодолитного хода, пользуясь данными столбца 8 журнала тахеометрической съемки (табл. 4).

В столбцы 3 и 4 табл. 7 записывают прямые и обратные превышения между вершинами съемочного обоснования. Прямые и обратные превышения выбираются из столбца 11 журнала тахеометрической съемки (табл. 4). На их основе вычисляют средние превышения и записывают в столбец 5 табл. 7 со знаком прямого превышения.

Определяют сумму средних превышений:

$$\Sigma h_{\text{ср}} = (h_{\text{ср}1} + h_{\text{ср}2} + h_{\text{ср}3}) = (2,95 + 0,04 + 3,09) = 6,08 \text{ м.}$$

Находят теоретическую сумму превышений между начальной и конечной точками съемочного обоснования. В нашем случае начальной точкой съемочного обоснования является станция пп35 ( $H_{\text{н}} = 53,98 \text{ м}$ ), а конечной точкой – станция пп34 ( $H_{\text{к}} = 60,00 \text{ м}$ ):

$$\Sigma h_{\text{теор}} = H_{\text{к}} - H_{\text{н}} = 60,00 - 53,98 = 6,02 \text{ м.}$$

Вычисляют невязку превышений:

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - \Sigma h_{\text{теор}} = 6,08 - 6,02 = 0,06 \text{ м.}$$

Допустимость полученной фактической невязки определяется по формуле

$$f_{h \text{ доп}} = 0,04 \cdot \Sigma D_c / \sqrt{n},$$

где 0,04 – предельная погрешность среднего превышения для расстояния в одну сотню метров;  $\Sigma D_c$  – длина хода, выраженная в сотнях метров;  $n$  – число сторон хода.

В нашем случае допустимая невязка превышений равна

$$f_{h \text{ доп}} = 0,04 \cdot 2,51 / \sqrt{3} = 0,06 \text{ м.}$$

Условие допустимости  $f_h \leq f_{h \text{ доп}}$  выполняется, необходимо уравнивать средние превышения.

Для уравнивания превышений необходимо в каждое из них внести поправку  $v_{hi}$ , которая вычисляется пропорционально длине стороны хода ( $D$ ).

Поправки определяют по формуле

$$v_{hi} = K_h \cdot D_i,$$

где  $K_h = -f_h / \Sigma D_i$ .

Поправки округляют до 0,01 м и проверяют их сумму  $\Sigma v_{hi} = -f_h$ :

Длина стороны, м	$D_1 = 69,28$	$D_2 = 81,02$	$D_3 = 101,13$	
Поправка $v_{hi}$ , м	-0,01	-0,02	-0,03	$\Sigma = -0,06$

Определив поправки, приступают к вычислению уравненных превышений, применяя для этого формулу

$$h_i = h_{cpi} + v_{hi}. \quad (13)$$

Уравненные превышения используют для последовательного вычисления отметок пунктов съемочного обоснования (станций) по формуле

$$H_{i+1} = H_i + h_i. \quad (14)$$

При определении отметок выполняют контроль вычислений по отметке конечного пункта пп34.

## 2.4. Вычисление отметок съемочных пикетов

Найденные отметки пунктов съемочного обоснования (станций)  $H_{ст}$  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, вычислив их по формуле

$$H_{сп\ i} = H_{ст} + h_i, \quad (15)$$

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. 3).

Например, в журнале тахеометрической съемки (табл. 3) для станции тт1, у которой отметка станции  $H_{ст} = 56,92$  м, по формуле (15) находим для съемочных пикетов 1 и 2 их отметки:

$$H_{сп\ 1} = 56,92 + 0,32 = 57,24 \text{ м},$$

$$H_{сп\ 2} = 56,92 + 2,28 = 59,20 \text{ м}.$$

Для станции тт2, у которой  $H_{ст} = 56,94$  м, отметка съемочного пикета 5 будет равна

$$H_{сп\ 5} = 56,94 + (-5,59) = 51,34 \text{ м}.$$

Для станции пп34, у которой  $H_{ст} = 60,00$  м, отметка съемочного пикета 5 будет равна

$$H_{сп\ 15} = 60,00 + (-1,20) = 58,80 \text{ м}.$$

## 2.5. Вычисление плановых координат вершин теодолитного хода

**2.5.1. Заполнение координатной ведомости исходными данными.** В графу 1 координатной ведомости (табл. 8) сверху вниз

последовательно записываются названия пунктов планово-съёмочного обоснования в соответствии со схемой (рис. 13): пп34, пп35, тт1, тт2, пп34, пп35. В графе 13 в соответствующих строках записывают названия станций пп34, пп35, тт1, тт2, пп34, пп35.

В графу 2 заносятся значения измеренных горизонтальных углов (их средние значения) между сторонами теодолитного хода  $\beta_i$  по данным журнала тахеометрической съёмки.

В графу 6 записывают величины горизонтальных проложений  $d_i$  сторон теодолитного хода по данным журнала тахеометрической съёмки, так чтобы их значения располагались между строками графы 1, в которых указаны названия пунктов данной линии: пп35–тт1 – 69,22 м; тт1–тт2 – 81,02 м и т. д.

В соответствии со своим вариантом из табл. 4 методических указаний определяется значение начального дирекционного угла  $\alpha_0$  для линии пп34–пп35. В связи с тем, что планово-съёмочным основанием тахеометрической съёмки в выполняемом задании является замкнутый теодолитно-тахеометрический ход, то начальный дирекционный угол считается также конечным, т. е.  $\alpha_0 = \alpha_k$ . В координатную ведомость (графа 4) вносят метки  $\alpha_0$  и  $\alpha_k$ , так чтобы записи дирекционных углов располагались между строками графы 1, где указаны названия пунктов хода: пп34–пп35.

В графах 11 и 12 координатной ведомости устанавливают метки  $X_n$  и  $Y_n$  для начальной точки пп35 и  $X_k$  и  $Y_k$  для конечной точки пп34 в строках, которые соответствуют значениям пп35 и пп34. Значения координат исходных пунктов выбираются их табл. 4 методических указаний.

**2.5.2. Уравнивание измеренных горизонтальных углов, вычисление дирекционных направлений.** В координатной ведомости (табл. 8) подсчитывают сумму измеренных углов  $\Sigma\beta_{\text{изм}}$  и теоретическую их сумму  $\Sigma\beta_{\text{теор}}$ , которая определяется по формуле

$$\Sigma\beta_{\text{теор}} = 180^\circ(n - 2). \quad (16)$$

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

Затем определяют фактическую величину угловой невязки:

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{изм}} - \Sigma\beta_{\text{теор}} \quad (17)$$

и допустимую величину угловой невязки:

$$f_{\beta\text{доп}} = 1' \sqrt{n} . \quad (18)$$

Если  $f_{\beta} \leq f_{\beta\text{доп}}$ , измерения на местности и последующие вычисления являются верными.

Измеренные углы уравнивают (увязывают), т. е. распределяют между ними фактическую угловую невязку  $f_{\beta}$  в виде поправок

$$v_{\beta} = -f_{\beta} / n . \quad (19)$$

Значения поправок округляют до  $0,1'$ , берут со знаком, противоположным угловой невязке  $f_{\beta}$ , и сумма поправок должна быть равна величине  $f_{\beta}$ .

Например, в табл. 8 (графа 2) фактическая невязка  $f_{\beta} = -2'$  разделена на 4 поправки (по количеству углов), которые соответственно равны  $+0,5'$  каждая, а их сумма  $\Sigma v_{\beta} = -f_{\beta} = +2,0'$ .

В графе 3 записываются уравненные горизонтальные углы, которые вычисляются по формуле

$$\beta_{\text{урав}, i} = \beta_{\text{изм}, i} + v_{\beta i} . \quad (20)$$

Сумма уравненных горизонтальных углов должна равняться теоретической сумме  $\Sigma \beta_{\text{теор}}$ .

Дирекционные углы всех сторон хода последовательно вычисляются по формуле

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + 180^{\circ} - \beta_i \quad (\alpha_{i+1} < 360^{\circ}) \quad (21)$$

*Дирекционный угол следующей по ходу стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс  $180^{\circ}$  минус уравненный правый по ходу угол между этими сторонами (при этом конечное значение угла  $\alpha_{i+1}$  не должно быть больше  $360^{\circ}$ ).*

Например, в табл. 8 определяем:

$$\alpha_{\text{пп35-тт1}} = 200^{\circ}11' + 180^{\circ} - 63^{\circ}05,5' = 317^{\circ}05,5',$$

$$\alpha_{\text{тт1-тт2}} = 317^{\circ}05,5' + 180^{\circ} - 145^{\circ}54,5' = 351^{\circ}11',$$

контроль

$$\alpha_{\text{пп34-пп35}} = \alpha_{\text{к}} = 107^{\circ}43,5' + 180^{\circ} - 87^{\circ}32,5' = 200^{\circ}11'.$$

Если все предыдущие вычисления верны, то в результате будет получено исходное значение  $\alpha_{\text{к}} = \alpha_0$  (сторона хода пп34–пп35).

Румб каждой стороны (графа 5) вычисляется со справочной целью в соответствии с формулами, которые должны быть известны студентам с предыдущих тем курса.

**2.5.3. Вычисление приращений координат и плановых координат пунктов хода.** Приращения координат, которые называются вычисленными, определяют в соответствии с формулами:

$$\Delta X'_i = d_i \cos \alpha_i, \quad (21)$$

$$\Delta Y'_i = d_i \sin \alpha_i. \quad (22)$$

При вычислениях на инженерном калькуляторе  $\Delta X'_i$  и  $\Delta Y'_i$  величины  $\alpha_i$  необходимо определять в градусах. Например, для стороны пп35–тг1 дан  $\alpha = 317^\circ 05,5'$ , определяем  $\alpha_0 = 05,5' / 60' + 317 = 317,092$ , вносим в память калькулятора  $x \rightarrow M$  и при  $d = 69,16$  м получаем  $\Delta X'_i = +50,66$  м;  $\Delta Y'_i = -47,09$  м. Величины  $\Delta X'_i$  и  $\Delta Y'_i$  записывают в ведомость (см. табл. 8 графы 7 и 8) с округлением до 0,01 м и со знаком плюс или минус.

Определяют суммы вычисленных приращений координат  $\Sigma \Delta X'$  и  $\Sigma \Delta Y'$  (см. пример табл. 8).

Вычисляют теоретические значения сумм приращений координат

$$\Sigma \Delta X_{\text{теор}} = X_{\text{к}} - X_{\text{н}}, \quad (23)$$

$$\Sigma \Delta Y_{\text{теор}} = Y_{\text{к}} - Y_{\text{н}} \quad (24)$$

(см. пример табл. 8).

Невязки вычисленных приращений координат определяют в соответствии с формулами:

$$f_X = \Sigma \Delta X' - \Sigma \Delta X_{\text{теор}}, \quad (25)$$

$$f_Y = \Sigma \Delta Y' - \Sigma \Delta Y_{\text{теор}} \quad (26)$$

(например в табл. 8  $f_X = +0,05$  м ;  $f_Y = -0,10$  м).

Абсолютная невязка хода

$$f_s = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2}, \quad (27)$$

а ее допустимая величина будет равна

$$f_{s \text{ доп}} = \Sigma d / 1000 \quad (28)$$

(одна тысячная от длины хода).

Абсолютная невязка хода  $f_s$  не должна превышать величину ее допустимого значения  $f_{s \text{ доп}}$ .

Если абсолютная невязка хода удовлетворяет условиям допустимости, то уравнивают вычисленные приращения координат  $\Delta X_i$  и  $\Delta Y_i$ . С этой целью фактические невязки  $f_x$  и  $f_y$  преобразуют в поправки  $v_{xi}$  и  $v_{yi}$  к соответствующим величинам  $\Delta X_i$  и  $\Delta Y_i$ . В начале вычисляются коэффициенты:

$$K_x = -f_x / \Sigma d, \quad (29)$$

$$K_y = -f_y / \Sigma d. \quad (30)$$

Затем определяются поправки пропорционально длине соответствующих сторон хода:

$$v_{xi} = K_x \cdot d_i, \quad (31)$$

$$v_{yi} = K_y \cdot d_i. \quad (32)$$

Знак поправок  $v_{xi}$  и  $v_{yi}$  противоположен знаку соответствующей невязки  $f_x$  или  $f_y$ , а сумма поправок должна быть равна величине соответствующей невязки:

$$\Sigma v_{xi} = -f_x, \quad (33)$$

$$\Sigma v_{yi} = -f_y. \quad (34)$$

Например, на основании данных табл. 8 определяем коэффициенты  $K_x = -(+0,05 / 251,22) = -0,000199$ ;  $K_y = -(-0,10 / 251,22) = +0,000398$ . Поправки будут равны:

Горизонтальное проложение, м	Поправки, м	
	$v_{xi}$	$v_{yi}$
$d_1 = 69,16$	-0,01	+0,03
$d_2 = 81,02$	-0,02	+0,03
$d_3 = 101,04$	-0,02	+0,04

Вычисленные значения поправок записывают в графах 7 и 8 координатной ведомости над соответствующими значениями  $\Delta X'_i$  и  $\Delta Y'_i$ . Затем вычисляют уравненные приращения координат в соответствии с формулами:

$$\Delta X_i = \Delta X'_i + v_{xi}, \quad (35)$$

$$\Delta Y_i = \Delta Y'_i + v_{yi} \quad (36)$$

и их значения записывают в графах 9 и 10 координатной ведомости (табл. 8).

Таблица 8

## Ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода

№ точек	Горизонтальный угол		Дирекционный угол $\alpha$	Румб стороны $r$	Гор. Проложение $d$ , м	Приращения координат, м				Координаты точек, м		№ точек
	измеренный $\beta'$	уравненный $\beta$				вычисленные		уравненные		$X$	$Y$	
						$\pm\Delta X'$	$\pm\Delta Y'$	$\pm\Delta X$	$\pm\Delta Y$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
пп34	—	—	$\alpha_0$	—	—	—	—	—	—	—	—	пп34
пп35	+0,5' 63°05'	63°05,5'	200°11'	—	—	—	—	—	—	$X_H$ 2052,25	$Y_H$ 1511,25	пп35
тт1	+0,5' 145°54'	145°54,5'	317°05,5'	СЗ: 42°54,5'	69,16	-0,01 50,66	+0,03 -47,13	50,65	-47,10	2102,90	1464,40	тт1
тт2	+0,5' 63°27'	63°27,5'	351°11'	СЗ: 08°49'	81,02	-0,02 80,06	+0,03 -12,42	80,04	-12,39	2182,94	1452,01	тт2
пп34	+0,5' 87°32'	87°32,5'	107°43,5'	ЮВ: 72°16,5'	101,04	-0,02 -30,76	+0,04 96,28	-30,78	96,32	$X_K$ 2152,16	$Y_K$ 1548,33	пп34
пп35	—	—	$\alpha_K$	—	—	—	—	—	—	—	—	пп35
$\sum\beta' =$	359°58'	—	—	—	$\sum d_i =$ = 251,22	$\sum\Delta X' =$ = 99,96	$\sum\Delta Y' =$ = 36,73	$\sum\Delta X =$ = 99,91	$\sum\Delta Y =$ = 36,83	—	—	—
$\sum\beta_{теор} =$	360°00'	—	—	—	—	$\sum\Delta X_T =$ = 99,91	$\sum\Delta Y_T =$ = 36,83	—	—	—	—	—
$f_\beta =$	-0°02'	—	—	—	—	$f_x =$ = 0,05	$f_y =$ = -0,10	—	—	—	—	—
$f_{\beta доп} =$	$1'\sqrt{n} = 2'$	—	—	—	—	$f_s =$ = 0,11	$f_{s доп} =$ = 0,25	—	—	—	—	—

Вычисляют суммы уравненных приращений координат, записывают полученные значения в графах 9 и 10 и выполняют контроль вычислений:

$$\Sigma \Delta X = \Sigma \Delta X_{\text{теор}}, \quad (37)$$

$$\Sigma \Delta Y = \Sigma \Delta Y_{\text{теор}}. \quad (38)$$

Координаты вершин теодолитного хода (графа 11 и 12 координатной ведомости) начинают последовательно вычислять от известных координат  $X_H$ ,  $Y_H$  (пп35) начальной точки хода и заканчивают для контроля определением известных координат  $X_K$ ,  $Y_K$  конечной точки (пп34). При этом координата каждой следующей точки хода равна сумме координаты предыдущей точки и уравненного приращения координат:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_i, \quad (39)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_i. \quad (40)$$

Например, в табл. 8 определяем:

$$X_{\text{тт1}} = X_H + \Delta X_1 = 2052,25 + 50,65 = 2102,90 \text{ м},$$

$$X_{\text{тт2}} = X_{\text{тт1}} + \Delta X_2 = 2102,90 + 80,04 = 2182,94 \text{ м},$$

$$X_K = X_{\text{тт2}} + \Delta X_3 = 2182,94 - 30,78 = 2152,16 \text{ м}.$$

## 3. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Составление топографического плана

Для составления плана используют чертежную бумагу формата А2 – 430×614 мм (или близкого к нему). Координатную сетку разбивают при помощи линейки Ф. В. Дробышева, измерения при составлении плана выполняют посредством циркуля-измерителя, масштабной линейки ЛМП, геодезического транспорта ТГ и тахеографа – кругового транспорта с линейкой. Используются также угольники, простые остро заточенные карандаши марки М, лист восковки (кальки) размером приблизительно 10×12 см.

План строится в два этапа соответственно двум этапам выполнения полевых работ:

- наносится геодезическая основа (пункты государственной геодезической сети), пункты геодезического сгущения и пункты съемочного обоснования по их прямоугольным координатам;

- наносится ситуация, т. е. наносятся пикеты в местной системе полярных координат и рисуются контуры наземных объектов и горизонтали – рельеф.

План сначала составляют карандашом тонкими линиями без давления на бумагу. После проверки его вычерчивают черной и коричневой тушью условными топографическими знаками, образцы которых приведены в таблице 9 или [4].

**3.1.1. Нанесение координатной сетки.** На листе чертежной бумаги строят сетку квадратов 10×10 см общим размером 30×40 см (рис. 15). Применяя линейку Ф. В. Дробышева, используют свойства прямоугольного треугольника с отношением сторон 3 : 4 : 5.

Координатную сетку подписывают для плана масштаба 1 : 1000 (в 1 см 10 м) так, чтобы пункт пп35 разместился в квадрате, показанном на рис. 15, на котором также дана схема нанесения точки с координатами  $X_{35} = 2052,25$  м;  $Y_{35} = 1511,50$  м. Аналогично наносят на план точки тт1, тт2 и пп34. Правильность их положения проверяется измерением на плане длин сторон между нанесенными пунктами плано-съемочного обоснования. Данные для проверки выбираются из столбца 6 табл. 8. Допустимая погрешность длины составляет 0,5–0,8 мм.

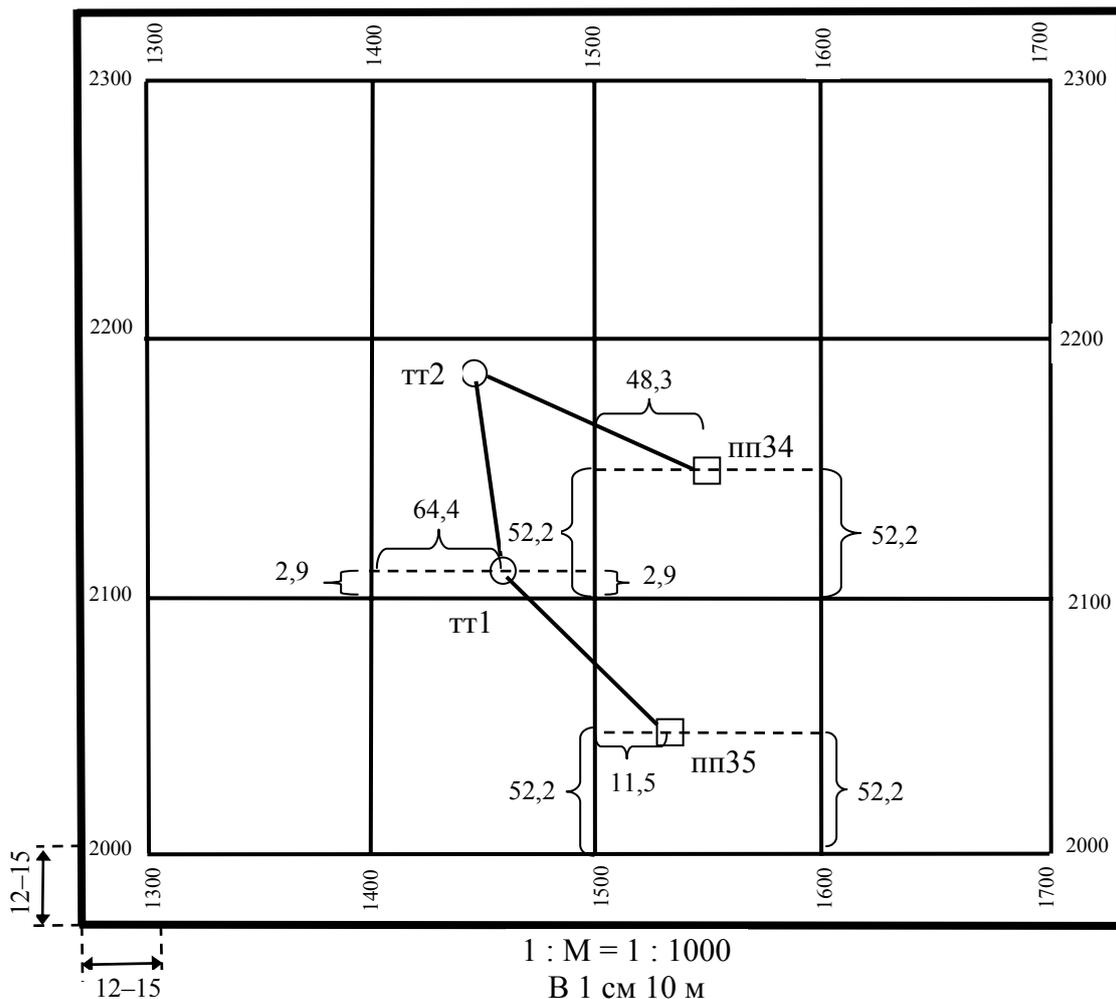


Рис. 15. Нанесение точек по их координатам

**3.1.2. Нанесение съёмочных пикетов и прочерчивание контуров объектов местности.** Съёмочные пикетные точки наносят на план с помощью геодезического транспорта ТГ, циркуля-измерителя, масштабной линейки ЛМП или тахеографа по их полярным координатам, записанным в журнале тахеометрической съёмки (табл. 3) – по отсчету по горизонтальному кругу (столбец 5) и горизонтальному проложению  $d$  (столбец 8).

Как показано на рис. 12, для станции тг1 полярная ось представлена линией тг1–пп35. Это начальное направление указано также в журнале тахеометрической съёмки для станции тг1 записью «Ориентирование на пп35» и отсчетом горизонтального круга, равным  $0^{\circ}00'$

(см. табл. 3 столбец 5), полученным при визировании на пункт пп35 в положении КЛ.

Транспортир ТГ размечают на плане, совместив его центр с точкой тт1, а нулевой штрих градусных делений направляют в сторону начала счета горизонтальных (полярных) углов по прочерченному направлению тт1–пп35. Не снимая транспортира, сначала слабыми штрихами отмечают направления на пикетные точки, записанные в столбце 5, подписывая номера этих направлений. Затем по этим направлениям от точки тт1 откладывают в масштабе плана горизонтальные проложения  $d$ , записанные в столбце 8 журнала тахеометрической съемки (табл. 3). Рядом с полученными пикетными точками подписывают их отметки  $H$  (столбец 12 журнала тахеометрической съемки (табл. 3)) и, пользуясь абрисом (см. рис. 14), наносят на план контуры объектов местности, сверяясь также с примечаниями в журнале тахеометрической съемки (табл. 3 столбец 13).

**3.1.3. Изображение рельефа.** Рельеф земной поверхности изображается горизонталями с высотой сечения  $h_c = 1$  м. Для облегчения работы необходимо вычертить палетку из параллельных линий, проведенных на листе прозрачной основы (восковки) через 1 см (рис. 16, а). Каждую линию подписывают отметками горизонталей снизу вверх. Наименьшее значение отметки берется по пикетным точкам 5 и 6. На рис. 16, а нижняя линия палетки подписана отметкой 54 м.

Место горизонталей определяется между парами точек только по направлениям, указанным стрелками в абрисе (см. рис. 14).

Палетку кладут на план и перемещают так, чтобы точка  $A$  расположилась между линиями палетки согласно подписанной отметке 54,8 м (см. рис. 16, б). Палетку прижимают к плану в точке  $A$  заостренным предметом (можно карандашом) и вращают до положения, при котором точка  $B$  займет между линиями палетки место, соответствующее ее отметке 59,3 м. Точки пересечения линии  $AB$  линиями палетки переносят на план и помечают цифрами подписей палетки. Аналогично находят следы горизонталей между остальными парами точек, обозначенными стрелками на абрисе. Через следы одноименных горизонталей проводят плавные линии – искомые горизонтали (см. рис. 16, в).

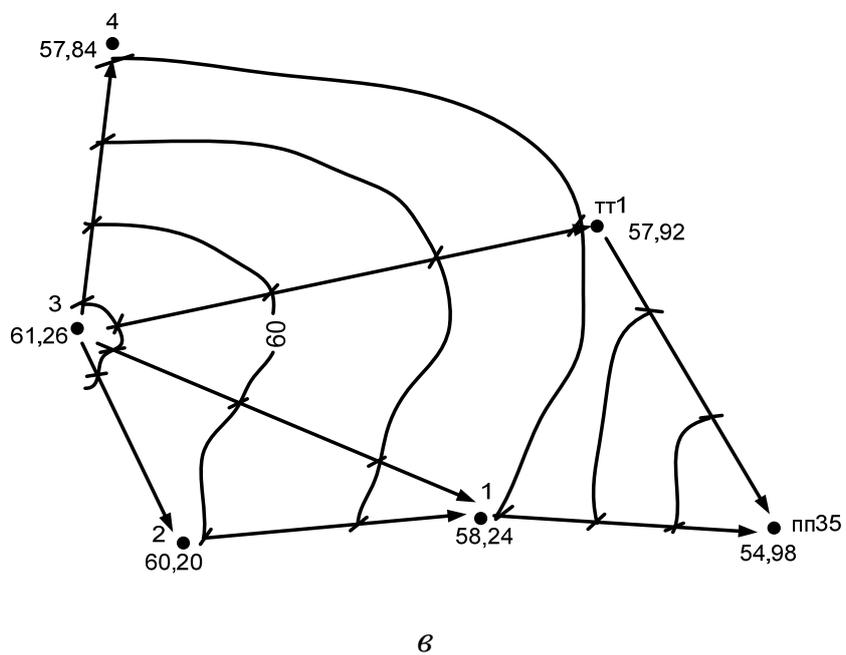
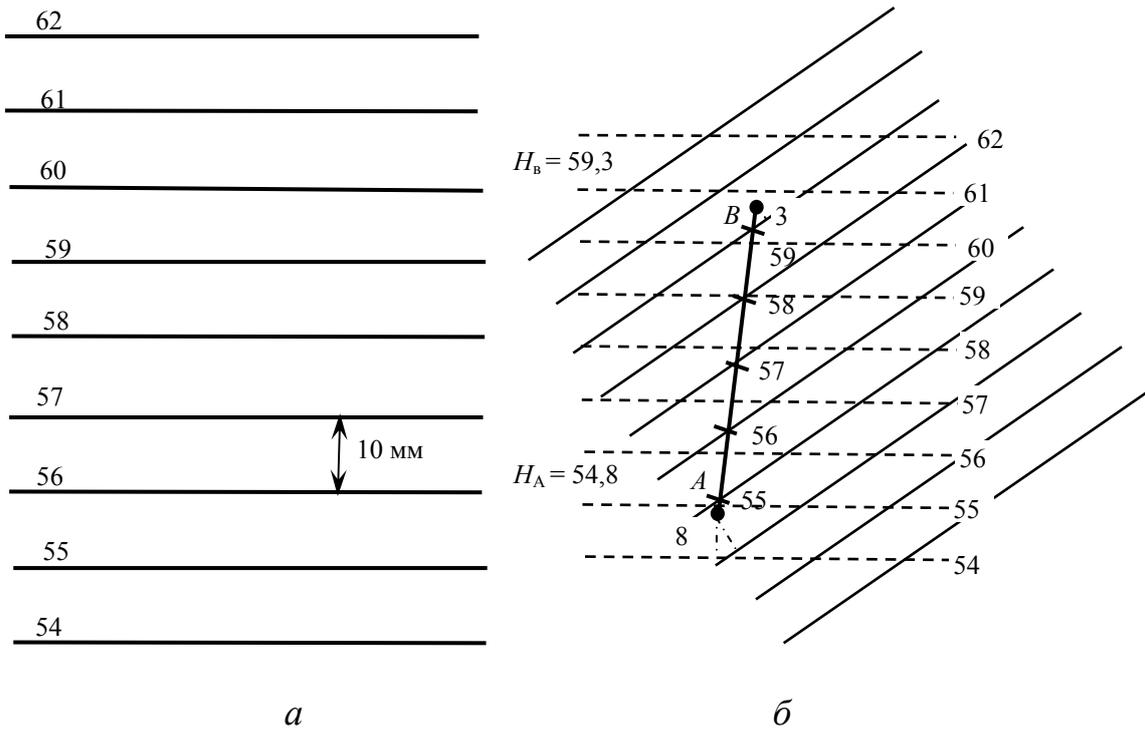


Рис. 16. Палетка из параллельных линий и ее применение:  
*a* – палетка; *б* – след горизонталей; *в* – нанесение горизонталей через их следы

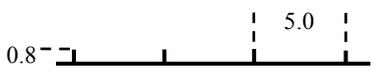
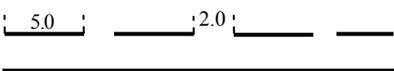
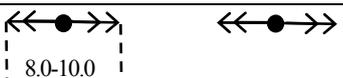
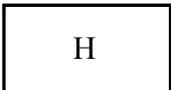
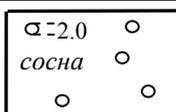
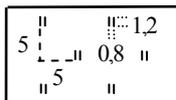
### 3.2. Оформление топографического плана

Составленный карандашом план проверяет преподаватель, и после исправлений план вычерчивают тушью в соответствии с условными топографическими знаками (табл. 9 или [4]). Для образца следует пользоваться учебными топографическими картами. Отметки подписывают черной тушью только для пунктов съемочного обоснования и характерных точек местности (вершин холмов, низких точек лощин, седловин). Коричневой тушью вычерчивают горизонтали и цифровые значения их высоты. Каждую пятую горизонталь утолщают до 0,3 мм при толщине остальных горизонталей 0,1–0,15 мм. В разрыве некоторых горизонталей в четырех-пяти местах плана подписывают их отметки, а основание цифр располагают в сторону понижения рельефа. 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.

Пример графического исполнения топографического плана показан на рис. 17.

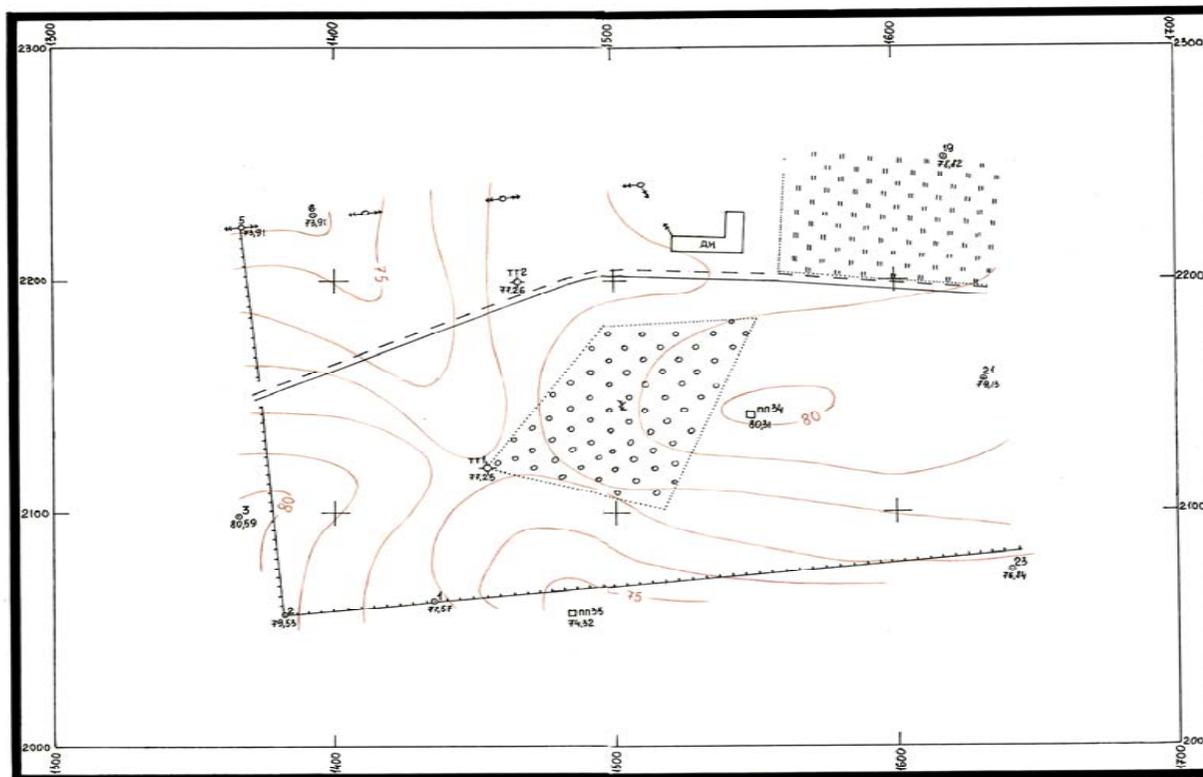
Таблица 9

Условные знаки для топографических планов масштаба 1 : 1000

Наименование объекта	Вид на плане
	забор деревянный
	дорога грунтовая проселочная
	контуры растительности сельскохозяйственных угодий
	линия электропередачи (ЛЭП) на застроенной территории
	строения нежилые неогнестойкие (одноэтажные)
	лес
	растительность травяная, луговая (разнотравье)

# ПЛАН УЧАСТКА

## ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА



ЛХФ БГТУ

1:1000  
в 1 см - 10 м  
высота сечения рельефа 1 м

студент 1к.4гр. Крачковский А.В.  
Проверил Пушкин А.А.

Рис. 17. Пример оформления топографического плана

#### 4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И ПОДГОТОВКИ К ЗАЩИТЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1. В чем сущность тахеометрической съемки?
2. Как определить плановые и высотную координаты пункта, с которого ведется тахеометрическая съемка?
3. Как вычислить угловую невязку теодолитного хода, определить, допустима ли эта невязка, и уравнять углы?
4. По какой формуле вычисляются дирекционные углы сторон теодолитного хода?
5. Назовите соотношения между дирекционными углами сторон и их дирекционными румбами.
6. Формулы для вычисления приращений координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ , невязок  $f_x$  и  $f_y$ , абсолютной линейной невязки и относительной невязки теодолитного хода, допустимой величины невязки.
7. Уравнивание приращений координат и вычисление координат пунктов теодолитного хода.
8. Вычисление места нуля вертикального круга и углов наклона при работе с теодолитом Т30. Такие же формулы для теодолита 2Т30.
9. Как вычислить величину и знак среднего превышения между пунктами съемочного обоснования по данным тахеометрического нивелирования?
10. Как вычислить невязку средних тахеометрических превышений в ходе и определить ее допустимую величину? Как уравнивать превышения и вычислить отметки пунктов хода?
11. Каково значение записей «Ориентировано на пункт ...», сделанных в журнале тахеометрической съемки?
12. Какие измерения выполняются на тахеометрической станции при определении полярных координат съемочного пикета?
13. Как определяются на практике величины правой части формулы  $H_{сп} = H_{ст} + h' + i - v$ ?
14. Как строится координатная сетка на плане и контролируется ее точность?
15. По каким данным и какими способами наносятся на план съемочные (пикетные) точки?
16. Каковы требования к нанесению на план горизонталей, подписи их высот (отметок), расположению бергштрихов?
17. По каким формулам вычисляются значения  $d$  и  $h_i$  при отсутствии тахеометрических таблиц?

18. Какова роль микрокалькуляторов и иных средств автоматизации вычислений в совершенствовании полевых и камеральных процессов тахеометрической съемки?

19. Составьте собственную программу вычисления  $d$ ,  $h'$ ,  $h$  и  $H_{сп}$  для персонального компьютера.

20. Составьте программу вычисления координат пунктов съемочного обоснования для персонального компьютера.

21. Составьте программу расчетов прямоугольных координат пунктов съемочного обоснования и полярных координат съемочных пикетов на персональном компьютере, используемом в учебном процессе.

22. Предложите конструкцию устройства, содержащего транспортир и линейку, для рационализации нанесения на план съемочных пикетов.

23. Рассмотрите возможность сокращения времени наблюдений тахеометрической рейки за счет перехода от программы «наведение теодолита на отсчет по дальномеру, наведение на высоту  $v$ » к одному только наведению на отсчет по дальномеру. Выведите формулы для вычислений  $d$  и  $H_{сп}$  для сокращенной программы наведения на рейку.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Несцяронак, В. Ф. Інжынерная геадэзія: падручнік / В. Ф. Несцяронак, М. С. Несцяронак. – Мінск: БДТУ, 1998. – 320 с.
2. Хренов, Л. С. Инженерная геодезия: учеб. пособие / Л. С. Хренов, С. Е. Баршай, В. Ф. Нестеронок; под. ред. Л. С. Хренова. – Минск: Вышэйшая школа, 1976. – 400 с.
3. Никулин, А. С. Тахеометрические таблицы / А. С. Никулин. – М.: Недра, 1973. – 320 с.
4. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. – М.: Недра, 1989. – 285 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
1. Теоретическая часть .....	4
1.1. Назначение и сущность тахеометрической съемки .....	4
1.2. Приборы для тахеометрической съемки .....	5
1.3. Особенности тахеометрической съемки .....	12
1.4. Порядок работы на станции тахеометрической съемки .....	19
2. Расчетная часть .....	22
2.1. Общая характеристика съёмочных работ на участке местности.....	22
2.2. Вычисление превышений и горизонтальных проложений в журнале тахеометрической съемки .....	28
2.3. Вычисление отметок пунктов съёмочного обоснования .....	34
2.4. Вычисление отметок съёмочных пикетов .....	36
2.5. Вычисление плановых координат вершин теодолитного хода .....	36
3. Графическая часть .....	43
3.1. Составление топографического плана .....	43
3.2. Оформление топографического плана .....	47
4. Вопросы для самопроверки и подготовки к защите расчетно-графической работы .....	49
Рекомендуемая литература .....	51

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА**

Составители: **Пушкин** Андрей Александрович  
**Ковалевский** Сергей Владимирович

Редактор *О. П. Соломевич*  
Компьютерная верстка *О. П. Соломевич*

Подписано в печать 29.06.2009. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 3,1.  
Тираж 250 экз. Заказ

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»  
220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ №02330/0549423 от 08.04.2009.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13.  
ЛП №02330/0150477 от 16.01.2009.