

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию

Пенза 2013

УДК 528(075.8)

ББК 26.12я73

Г35

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент кафедры «Землеустройство и геодезия» Е.П. Тюкленкова (ПГУАС); доцент кафедры «Общее земледелие и землеустройство» А.П. Дужников (ПГСХА)

Геодезия: учеб.-метод. пособие / В.В. Пономаренко. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 80 с.

Изложена последовательность выполнения заданий, которые студенты оформляют в виде курсовой работы, приведены примеры их выполнения и даны пояснения к ним по программе курса «Геодезия».

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре землеустройства и геодезии и предназначено для студентов очной формы обучения (бакалавриат) для направления 120700 «Землеустройство и кадастры».

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013

© Пономаренко В.В., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с типовой учебной программой подготовки бакалавров по направлению 120700 «Землеустройство и кадастры».

Пособие состоит из двух частей.

В первой части рассматриваются основные геодезические понятия и способы их применения для решения задач по топографической карте. На лабораторных занятиях также изучаются геодезические приборы: теодолит 4Т30 и нивелир Н-3. В программу обучения входит знакомство с устройством приборов, получение навыков пользования ими и изучение поверок и юстировок данных приборов. На отдельной лекции студенты знакомятся с теорией погрешностей.

Первая часть пособия полностью соответствует учебной программе, которую проходят студенты перечисленных специальностей в первом семестре первого курса обучения. Каждое задание в пособии сопровождается кратким пояснительным текстом, примерами решения и иллюстрациями в виде рисунков и таблиц. Первый раздел пособия посвящен заданиям, которые студенты оформляют в виде курсовой работы. Во втором разделе коротко описывается порядок выполнения курсовой работы и приводятся требования к ее выполнению. В третьем разделе рассматривается устройство и порядок работы с геодезическими приборами. К данному пособию прилагается мультимедийный курс лекций и три мультимедийных пособия, позволяющих студентам самостоятельно готовиться к лабораторным занятиям. Все эти пособия студенты могут получить в электронной библиотеке университета.

Во второй части представлены виды геодезических съемок (теодолитная, тахеометрическая), способы геометрического нивелирования и инженерных изысканий (составление картограммы земляных масс, проектирование профиля автодороги, вынос на местность осей сооружений). Также рассматривается устройство современных геодезических приборов: электронного теодолита, электронного тахеометра и т.д.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: общекультурные компетенции – ОК-1, ОК-2, ОК-6, ОК-7, ОК-8; профессиональные компетенции: ПК-2, ПК-5.

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия – наука об измерениях на поверхности земли с целью определения ее формы и размеров, составления планов и карт, а также решения различных инженерных задач на местности. В составе геодезии выделяют несколько разделов.

Высшая геодезия изучает форму и размеры земли, а также методы высокоточного определения координат точек земной поверхности и изображения ее на плоскости.

Топография рассматривает методы производства топографических съемок для составления планов небольших участков земной поверхности.

Инженерная геодезия рассматривает постановку и методы геодезических работ, необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Методы инженерной геодезии основаны на теории и способах высшей геодезии и топографии, но имеют свои особенности связанные с характером строительства.

Фототопография основана на получении топографических планов с использованием аэрофотоснимков.

Геодезия тесно связана с такими науками как математика, физика, астрономия, география, геология и геоморфология. Математические методы широко используются в геодезических расчетах, физические – при создании и эксплуатации геодезических приборов. Путем астрономических наблюдений определяют положение точек на поверхности земли и ориентирование линий на северный и южный полюсы. Для правильного отображения поверхности земли на топографических планах и картах используют данные по геологии, географии и геоморфологии.

История геодезии начинается за много веков до нашей эры. Геодезические работы проводились в древнем Египте, Греции, Риме.

Первые упоминания о геодезических работах в России относятся к XII веку, когда в 1068 году было измерено расстояние между Таманью и Керчью по льду Керченского пролива. Более совершенная постановка геодезических работ началась при Петре 1. В 1739 году был утвержден географический департамент при Российской академии наук. Новый этап развития геодезии начался после Отечественной войны 1812 года. В советское время широкое развитие геодезии позволило определить размеры земного эллипсоида, а также покрыть всю территорию СССР топографической съемкой 1: 100000 масштаба и частично 1:25000 масштаба.

В постсоветский период получают применение глобальные навигационные спутниковые системы ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США), которые используются для определения координат точек земной поверхности. Использование при определении положения точек спутниковых методов несмотря на их определенные недостатки имеет ряд существенных преимуществ.

ществ по сравнению с традиционными геодезическими методами. Но последние по-прежнему широко применяются при проведении строительных работ, решении геодезических задач на строительной площадке и составлении планов небольших участков земной поверхности.

Цель дисциплины «Геодезия» заключается в формировании у студентов четкого представления о средствах и методах геодезических работ при топографо-геодезических изысканиях, создании и корректировке топографических планов, для решения инженерных задач при землеустройстве и кадастровых работах в производственно-технологической, проектно-изыскательной, организационно-управленческой и научно-исследовательской деятельности.

Студенты, изучившие курс «Геодезия», должны **знать**:

- методы проведения геодезических измерений;
- методику составления топографических карт и планов;
- порядок ведения, правила и требования, предъявляемые к качеству и оформлению результатов полевых измерений, материалов, документации и отчетности;
- систему топографических условных знаков;
- современные методы построения опорных геодезических сетей;
- современные геодезические приборы, способы выполнения измерений, поверки и юстировки приборов и методику их исследования;
- способы определения площадей участков местности и площадей контуров сельскохозяйственных угодий с использованием современных технических средств;
- теорию погрешностей измерений, методы обработки геодезических измерений и оценки их точности;
- основные методы определения планового и высотного положения точек земной поверхности с применением современных технологий;
- основные принципы определения координат с применением глобальных спутниковых навигационных систем.

Уметь:

- использовать топографические карты, планы и другую геодезическую информацию при решении инженерных задач в землеустройстве;
- пользоваться геодезическими приборами, производить измерения на практических занятиях и в процессе проведения геодезических съемок, а также при решении инженерно-геодезических задач;
- выполнять топографо-геодезические работы и обеспечивать необходимую точность геодезических измерений, анализировать полевую топографо-геодезическую информацию;
- оценивать точность результатов геодезических измерений; уравнивать геодезические построения типовых видов. Использовать пакеты прикладных программ, проводить необходимые расчеты на ЭВМ;

– определять площади контуров сельскохозяйственных угодий, используя современную измерительную и вычислительную технику.

Владеть:

– методами проведения топографо-геодезических работ и навыками использования современных приборов, оборудования и технологий;

– навыками работы с топографо-геодезическими приборами и системами;

– методикой оформления планов с использованием современных компьютерных технологий, навыками работы со специализированными программными продуктами в области геодезии;

– методами и средствами обработки разнородной информации при решении специальных геодезических задач в землеустройстве;

– навыками работы с топографо-геодезическими приборами и системами, навыками поиска информации из области геодезии в Интернете и других компьютерных сетях.

– навыками выполнения угловых, линейных, высотных измерений.

1. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

Термин «карта» появился в средние века в эпоху Возрождения и происходит от латинского слова «charta» (лист бумаги), производного от греческого слова «хартес» (бумага из папируса). Элементы карты – это ее составные части, включающие само картографическое изображение, легенду и зарамочное оформление. Важнейший элемент всякой карты – легенда, т.е. система использованных на ней условных обозначений и текстовых пояснений к ним. Для топографических карт составлены специальные таблицы условных знаков. Они стандартизированы и обязательны к применению на всех картах соответствующего масштаба. Картографическое изображение строится на математической основе, элементами которой являются координатные сетки, масштаб, геодезическая основа, а также компоновка карты, т.е. взаимное размещение в пределах рамки самой изображаемой территории, название карты, легенды, дополнительных карт и других данных. Вспомогательное оснащение карты облегчает чтение и пользование ею. Оно включает различные картометрические графики (например графики уклонов), схемы изученности картографируемой территории и использованных материалов, разнообразные справочные сведения. К дополнительным данным относятся карты-врезки, фотографии, диаграммы, графики, профили, текстовые и цифровые данные. Они не принадлежат непосредственно картографическому изображению или легенде, но тематически связаны с содержанием карты, дополняют и поясняют его.

При построении карты предполагается, что поверхность земли сначала наносится на глобус, а затем с его поверхности переносится на плоскость. Этот перенос сводится к переносу параллелей и меридианов с глобуса на плоскость, называемую картографической сеткой, внутри которой наносятся контуры местности и рельеф.

Математический закон построения картографической сетки на плоскости называется картографической проекцией. Существенным отличием карты от плана является закономерное изменение масштаба карты от точки к точке, тогда как на плане масштаб постоянен. На карте имеется направление вдоль одного из меридианов или параллелей, где масштаб постоянен; такой масштаб называется главным и равен масштабу глобуса. В остальных частях карты масштаб отличается от главного и называется частным.

Общегеографические карты масштаба 1:300000 и крупнее называются топографическими. Карты масштаба 1:100000 и крупнее получают в результате съемки местности.

1.1. Оформление листа топографической карты

Стороны листа карты являются отрезками меридианов и параллелей и образуют внутреннюю рамку этого листа, имеющего форму трапеции. В каждом углу рамки карты указывается его долгота и широта.

Например: координаты юго-западного угла карты (рисунок 1) равны: широта $54^{\circ}37'30''$, долгота $31^{\circ}45'$. Рядом с внутренней рамкой расположена минутная рамка, деления которой соответствуют 1 минуте широты и долготы. Точками между минутной и внешней рамками обозначены 10-секундные интервалы. Между минутной и внутренней рамкой подписаны ординаты вертикальных и абсциссы горизонтальных линий координатной (километровой) сетки. Надписи 6420, 6421 означают, что ординаты находятся в 6-й зоне проекции Гаусса – Крюгера. Цифры 420 и 421 меньше 500 (линия осевого меридиана 6-й зоны); это свидетельствует о том, что лист расположен к западу от осевого меридиана ($y = -79; -80$ км). Долгота осевого меридиана вычисляется по формуле $L = 6^{\circ} N - 3^{\circ} = 33^{\circ}$, где N – номер зоны.

Вдоль западной и восточной сторон рамки выписаны абсциссы горизонтальных линий километровой сетки. Величина абсциссы, например 6057, указывает, что данная параллель находится в 6057 километрах к северу от экватора (рисунок 1).

Над северной стороной рамки подписывается номенклатура листа карты, а в разрывах минутной и внешней рамок указывается номенклатура четырех смежных листов того же масштаба.

Под серединой южной стороны рамки подписывается численный масштаб, вычерчивается соответствующий ему линейный масштаб, а также указывается высота сечения рельефа и выносится график заложения. Под юго-западным углом рамки в пояснительной записке указываются данные о склонении магнитной стрелки δ , величина сближения меридианов γ и величина угла между северным направлением километровых линий и магнитным меридианом. В дополнение к этому взаимное расположение истинного, осевого и магнитного меридианов показано на специальном графике (рисунок 2).

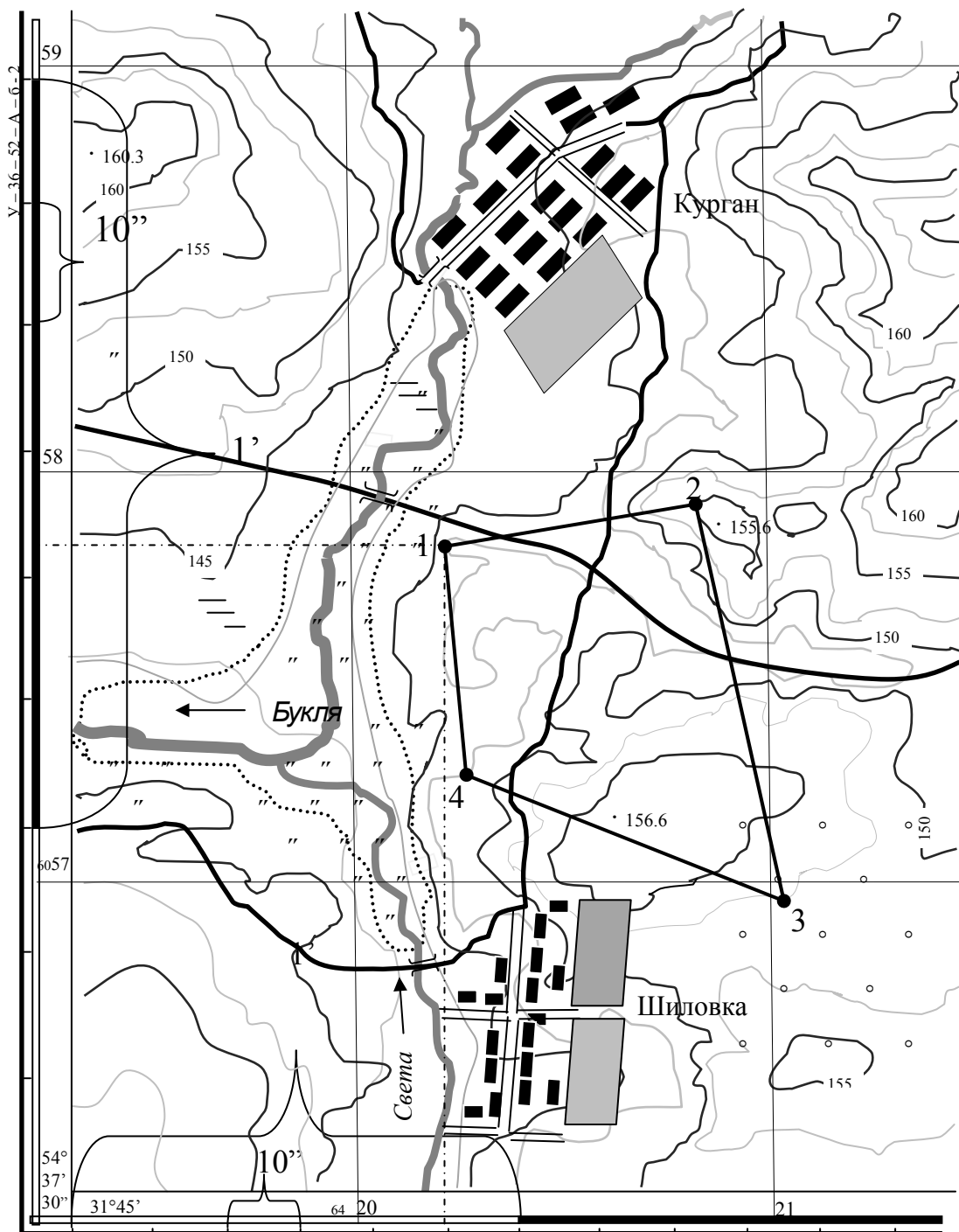


Рисунок 1 – Фрагмент топографической карты 1:10000 масштаба

Склонение на 2000г. Восточное $6^{\circ}00'$. Среднее сближение меридианов западное $0^{\circ}58'$. При прикладывании буссоли (компас) к вертикальной линии координатной сетки среднее отклонение магнитной стрелки восточное $6^{\circ}58'$. Годовое изменение склонения восточное $0^{\circ}02'$. Поправка в дирекционный угол при переходе к магнитному азимуту минус $6^{\circ}58'$.

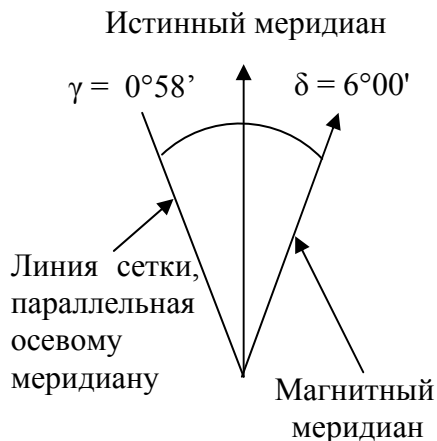


Рисунок 2 – Соотношение между осевым, истинным и магнитным меридианами

1.2. Масштабы

Масштаб – это степень уменьшения горизонтальных отрезков линий местности при переносе их на план. Существуют именованный, численный, линейный и поперечный масштабы. Численный масштаб представляет собой дробь, в числителе которой стоит единица, а в знаменателе – значение уменьшения линий местности при переносе их на план. На планах численный масштаб подписывается как 1:500; 1:5000; 1:50000.

Численный масштаб – число отвлеченное, не имеющее размерности, что позволяет вести измерения в любой системе мер. Чем больше дробь, тем крупнее масштаб и наоборот. Например: длина стороны теодолитного хода $DI-II$ равна 187,66 м. Тогда на плане длина линии будет равна $187,66 : 10 = 18,77$ см. Для упрощения работы пользуются линейным масштабом, являющимся графическим изображением численного в той или иной системе мер. Для его построения на прямой откладывается несколько отрезков одинаковой длины, например 2 см, т.е. в масштабе 1:1000 он равен 20 метрам на местности. Длина такого отрезка называется основанием масштаба. Число метров, соответствующее основанию масштаба, называется величиной линейного масштаба. Левое основание делим на 10 частей. То есть наименьшее деление линейного масштаба равно 2 миллиметрам, что равно 2 метрам на местности. Для определения длины линии на местности циркулем-измерителем определяем расстояние на плане. Взяв расстояние на плане в раствор циркуля, одну его ножку устанавливаем на штрих, разделяющий основания, таким образом, чтобы другая ножка попала на левое основание, по которому на глаз отсчитываем расстояние в интервале делений. Например, на рисунок 3 измеренное расстояние равно 65 метров.

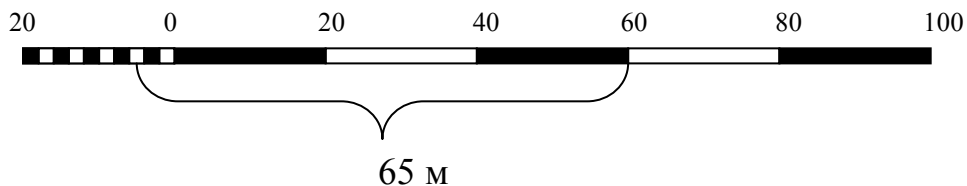


Рисунок 3 – Определение расстояния с помощью линейного масштаба

Рассчитано, что человеческий глаз способен различать две точки на расстоянии 0,1 мм. Величина отрезка местности, соответствующая 0,1 мм, называется точностью масштаба карты. Так, для масштаба 1:1000 точность масштаба равняется 0,1 м.

Необходимо отметить, что с помощью численного масштаба трудно производить построения с точностью менее 1 мм. Для этого используют поперечный масштаб. Построение поперечного масштаба производится в следующей последовательности:

1. На прямой линии откладываем несколько отрезков (оснований), как правило, длиной 2 см; из точек пересечения восстанавливаем перпендикуляры, высота которых произвольна (желательно кратная 10).

2. Делим вертикальную линию на десять частей (m) и из пересечений проводим прямые линии, параллельные основанию.

3. Основание крайнего левого квадрата делим на десять частей (n). Так же делим параллельную основанию линию в верхней части квадрата на десять частей (рисунок 4).

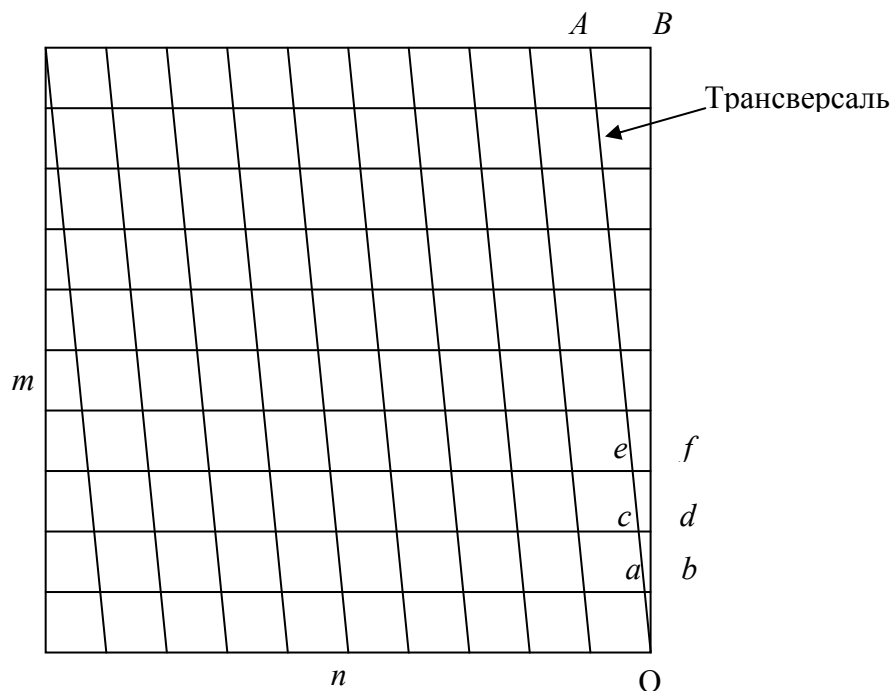


Рисунок 4 – Деления левого крайнего квадрата поперечного масштаба

4. Соединяем нулевую точку на основании с первой на верхней линии, параллельной ему, вторую точку соединяем с третьей и т. д. Получаем ряд линий, параллельных друг другу и наклонных к вертикальной прямой (см. рисунок 4). Эти линии называются трансверсальями.

Из подобия треугольников OAB и Oab можно видеть, что:

$ab / AB = ob / OB = 1 / 10$ $cd / AB = od / OB = 2 / 10$. По построению AB равно $1/10$ от основания масштаба, следовательно, наименьшее деление ab равно $1/100$ от основания масштаба. Такой масштаб называется сотенным. Он гравировается на металлических пластинах и используется при построении планов и карт.

Отрезок ab называется наименьшим делением поперечного масштаба q . Величина его зависит от длины основания и числа делений n и m . Например: длина основания равна 2 см, $n = 10$, $m = 10$, тогда длина отрезка $ab = 0,2$ мм, $cd = 0,4$ мм, $ef = 0,6$ мм.

Применение поперечного масштаба производится в следующей последовательности:

1. Циркулем-измерителем замеряем заданное расстояние на плане.
2. Переносим его на поперечный масштаб таким образом, чтобы одна из ножек циркуля попадала на линию 20, 40, 60, а другая – на разделенное на 10 частей основание.
3. Поднимаем циркуль вверх, до тех пор, пока вторая ножка циркуля не совпадет с наклонной линией (трансверсалью). При этом обе ножки циркуля должны стоять на одной линии, параллельной основанию.

Например: на рисунке 5 определяемое расстояние в $1:1000$ масштабе равно 49,6 м.

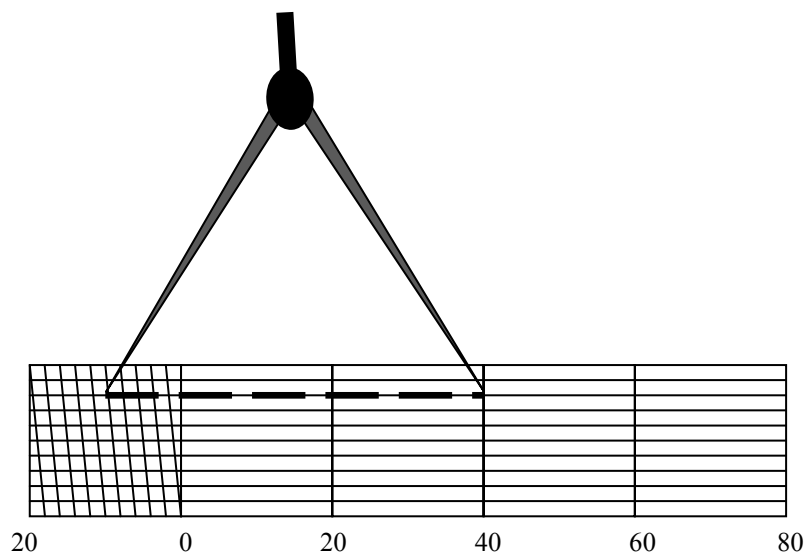


Рисунок 5 – Определение длины линии с помощью поперечного масштаба

1.2.1. Задание 1 Измерение длин линий

На фрагменте топографической карты 1:10000 масштаба ставятся 4 точки, положение которых задается преподавателем. Точки подписываются цифрами или буквами по часовой стрелке. Например: 1, 2, 3, 4 (см. рисунок 1). Точки соединяются тонкими прямыми линиями. Длины линий всех сторон четырехугольника измеряются с помощью линейного и поперечного масштабов. Данные измерений вносятся в таблицу 1. В последний столбец таблицы вносятся расхождения между измерениями по линейному и поперечному масштабам с целью оценки точности произведенных измерений.

Например: в таблицу 1 внесены данные измерения длин линий четырехугольника, отмеченного на карте (см. рисунок 1).

Таблица 1 – Результаты измерения длин сторон четырехугольника

Обозначение линий	Линейный масштаб, м	Поперечный масштаб, м	Расхождения, м
1–2	615	614	1
2–3	995	998	3
3–4	832	830	2
4-1	578	576	2

1.3. Геодезические и прямоугольные координаты

В геодезических построениях используются различные системы координат. Умение определять координаты точек по топографической карте является необходимым требованием для инженера-землеустроителя.

1.3.1. Геодезические координаты

В геодезической системе координат за основу координационной поверхности принимается поверхность референц-эллипсоида, а за основные координационные линии – геодезические меридианы и параллели. Геодезическим меридианом называется сечение эллипсоида плоскостью, проходящей через точку на его поверхности и малую полярную ось. Геодезической параллелью называется сечение эллипсоида плоскостью, проходящей через точку на его поверхности и перпендикулярной малой оси. Параллель, проходящая через центр эллипсоида, называется экватором. Положение точки на эллипсоиде задается пересечением параллели и меридиана. Меридиан задается геодезической долготой L , а параллель – геодезической широтой B .

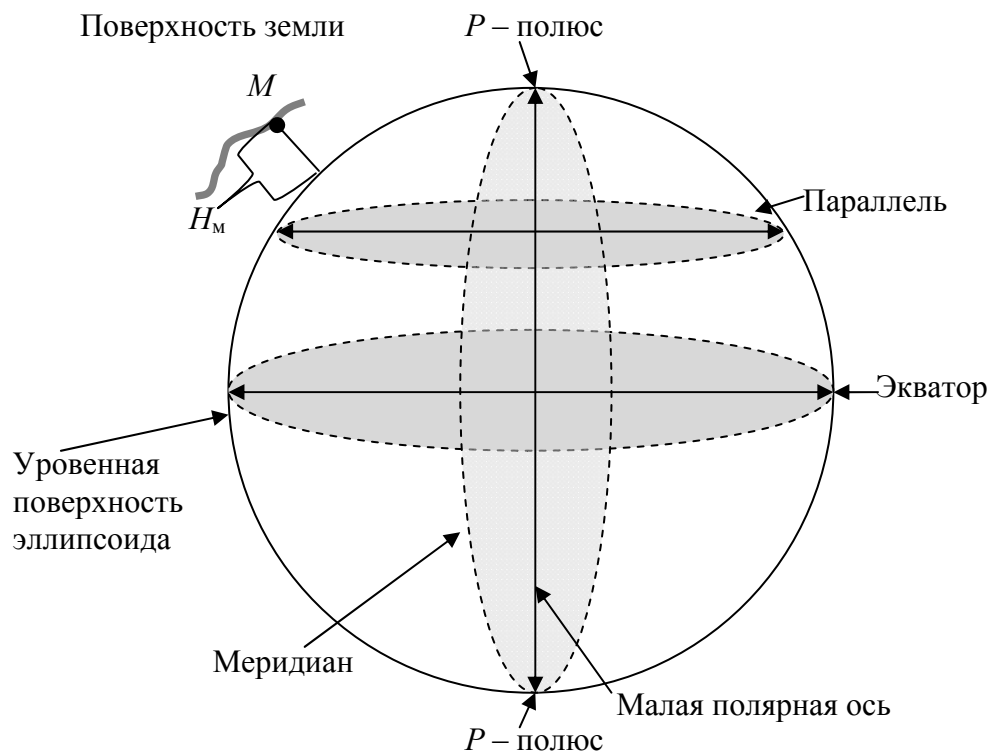


Рисунок 6 – Определение геодезических координат

Геодезическая широта B – это острый угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида, проведенной через точку на поверхности земли, и плоскостью экватора.

Геодезической долготой L называется двугранный угол между плоскостью гринвичского (начального) меридиана и плоскостью меридиана, проходящей через данную точку. Геодезические широты бывают северные и южные и изменяются от 0° (на экваторе) до 90° (на земных полюсах).

Геодезические долготы бывают западные и восточные и изменяются от 0° (на Гринвичском меридиане) до 180° (на Тихоокеанской ветви).

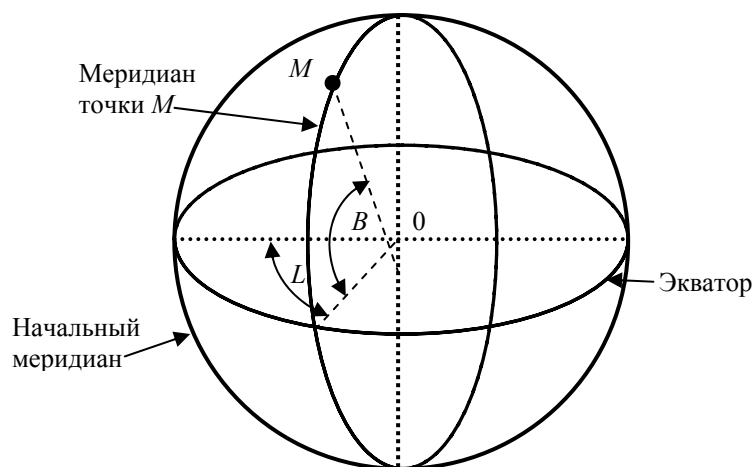


Рисунок 7 – Геодезические координаты: широта (B) и долгота (L)

Для определения положения конкретной точки на поверхности эллипсоида помимо долготы и широты необходимо знать высоту ее от поверхности эллипсоида (H_M). За начальную отсчетную поверхность принимается уровень моря. Относительно ее и принимают высоты точек поверхности земли, называемые абсолютными. В нашей стране за начальную точку отсчета принят нуль Крондштадского футштока, близко совпадающий с уровнем Балтийского моря (Балтийская система отсчета). Таким образом, точка M в геодезической системе имеет координаты $B_M; L_M; H_M$ (см. рисунок 6, 7).

Астрономическая система координат отличается от геодезической на 3–4 секунды и вместе с геодезической входит в понятие географической системы координат, которой и пользуются в геодезии, проводя измерения геодезическими методами.

1.3.2. Пример определения геодезических координат

Геодезические координаты (широту и долготу) точки определяют следующим образом. Например, для определения широты и долготы точки 1 проводят линии, параллельные нижней границе рамки и истинному меридиану, параллельному вертикальной оси рамки (рисунок 1, штрихпунктирные линии). Секунды определяются на глаз делением 10-секундного отрезка.

Например: на рисунке 1 геодезическая широта равна:

$$B_1 = 54^\circ 37' 30'' + 53'' = 54^\circ 38' 23''.$$

Геодезическая долгота равна:

$$L_1 = 31^\circ 45' + 49'' = 31^\circ 45' 49''.$$

В случае необходимости более точного определения координат точки можно поступить следующим образом. Линия, проведенная параллельно нижней границе рамки, делит десятисекундный интервал на две части (рисунок 8). Измеряем расстояние от нижней точки до прямой $d = 14$ мм. Расстояние между двумя точками 10" интервала $D = 46$ мм. Тогда приращение координаты по широте ΔB находим по формуле

$$\Delta B = 50' + (d/D) 10'' = (14/46) 10'' = 53,04''.$$

Геодезическую широту точки 1 определяем по формуле

$$B_1 = B_0 + \Delta B = 54^\circ 37' 30'' + 53,04'' = 54^\circ 38' 23,04'',$$

где B_0 – геодезическая широта юго-западного угла карты (см. рисунок 1).

Аналогичным образом определяем долготу точки 1, а также геодезические координаты других точек.

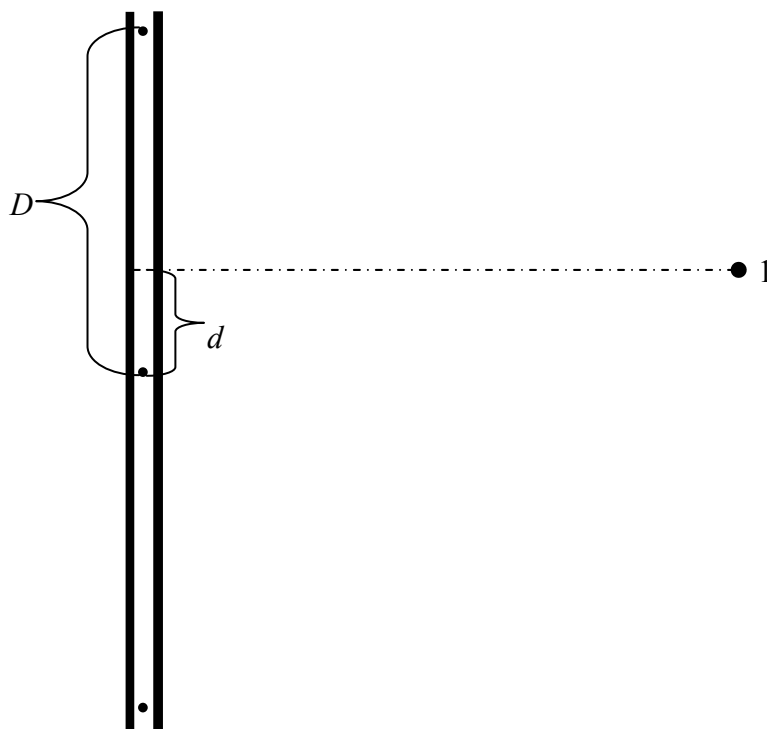


Рисунок 8 – Схема определения геодезической широты с повышенной точностью

1.3.3. Задание 2

Определение геодезических координат

По фрагменту геодезической карты определяются геодезические координаты всех вершин четырехугольного полигона 1–2–3–4. Определение координат делается с точностью до секунд. Результаты вносятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Геодезические координаты

№ точки	Геодезические координаты	
	Широта (B)	Долгота (L)
1	54°38'23"	31°45'49"
2	54°38'25"	31°46'25"
3	54°37'54"	31°46'36"
4	54°38'04"	31°45'52"

1.3.4. Прямоугольные координаты

Для изображения значительных частей земной поверхности на плоскости принимают специальные проекции, дающие возможность перенести на плоскость положение точек земной поверхности. Точки перенесены по математическим законам, что позволяет определять их положение

в плоской системе координат X, Y . В нашей стране за основу системы координат принята проекция, предложенная немецкими учеными Гауссом и Крюгером и получившая наименование «проекция Гаусса – Крюгера». Согласно этой проекции земной шар разделен на 3- или 6-градусные зоны вдоль меридианов, нумерация которых ведется с запада на восток, начиная от Гринвичского меридиана, принятого за ноль. Далее каждый сегмент разворачивается на плоскость, где осевой меридиан изображается прямой линией без искажения, т.е. с точным сохранением его длины. Экватор в каждом сегменте также изображается прямой линией, перпендикулярной осевому меридиану. За начало отсчета координат принимается пересечение экватора и осевого меридиана.

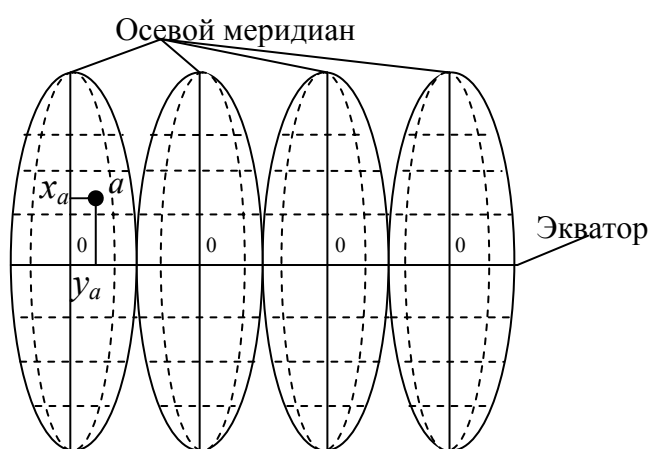


Рисунок 9 – Изображение зон в проекции Гаусса – Крюгера

Искажение длин линий в проекции Гаусса – Крюгера возрастает по мере удаления от осевого меридиана и может достигать величины порядка 1:1500 в шестиградусной зоне и 1:6000 в трехградусной. В инженерно-геодезических работах и при крупномасштабных съемках такие искажения необходимо учитывать, либо применять частную систему координат с осевым меридианом, проходящим через середину участка работ. Система координат в каждой зоне (сегменте) одинакова. Все географические карты на территории бывшего СССР, стран восточной и части стран западной Европы составлены в проекции Гаусса – Крюгера. Изображение на плоскости каждой шестиградусной полосы представляет собой колонну листов Международной карты мира в масштабе 1:1000000. Шестиградусная полоса, в свою очередь, является шестиградусной координатной зоной, ограниченной соответствующими меридианами. Ось ординат y направлена на восток и совмещена с изображением экватора. Ось абсцисс x совмещена с изображением осевого меридиана зоны и направлена на север.

Прямолинейное изображение осевого меридиана и экватора можно использовать в качестве осей прямоугольной системы координат.

Положение точки a на плоскости определяется плоскими прямоугольными координатами x_a и y_a . Каждую шестиградусную зону нумеруют арабскими цифрами. В РФ принята нумерация зон, отличная от мировой. Крайняя западная зона с долготой осевого меридиана $L_0=21^\circ$ имеет номер 4, а на Чукотке – номер 32. Номер зоны N и долгота L_0 осевого меридиана связаны между собой равенством: $L_0 = 6^\circ N - 3^\circ$.

Например: долгота осевого меридиана в 10-й зоне будет равна:

$$L_0 = 6^\circ \cdot 10 - 3^\circ = 57^\circ.$$

Для исключения из обращения отрицательных ординат ко всем ординатам добавляют число 500000 м. Кроме того, к ординате слева подписывается номер зоны. В результате получают число, представляющее собой условную ординату. Например: условная ордината точки равна 12298897,3 м. Это означает, что точка, имеющая такую ординату, находится в 12-й зоне, ее действительная ордината равна $-201102,7$ м, а долгота осевого меридиана зоны $L_0 = 6^\circ \cdot 12 - 3^\circ = 69^\circ$. Следовательно, точка находится в 201102,7 метрах к западу от осевого меридиана.

1.3.5. Пример определения прямоугольных координат

Определение прямоугольных координат по топографической карте производится в следующей последовательности. Определяем координаты юго-западного угла трапеции километровой сетки (см. рисунок 1), в котором находится точка 1:

$$X_0 = 6057 \text{ км}; Y_0 = 6420 \text{ км}.$$

Из точки 1 опускаем перпендикуляры на линии сетки трапеции. С помощью циркуля-измерителя и поперечного масштаба тщательно их измеряем. Полученные расстояния являются приращениями координат по осям X и Y (рисунок 10). $\Delta X_1 = -114$ м, $\Delta Y_1 = 222$ м.

Если точка находится севернее (выше) линии координатной сетки, то приращение координат по оси X имеет знак «плюс», а если южнее, то знак «минус».

Если точка находится восточнее (правее) линии координатной сетки, то приращение координат по оси Y имеет знак «плюс», а если западнее, то знак «минус».

Координаты точки 1 находим по формулам

$$X_1 = X_0 + \Delta X = 6058000 - 114 = 6057886 \text{ м}.$$

$$Y_1 = Y_0 + \Delta Y = 6420000 + 222 = 6420222 \text{ м}.$$

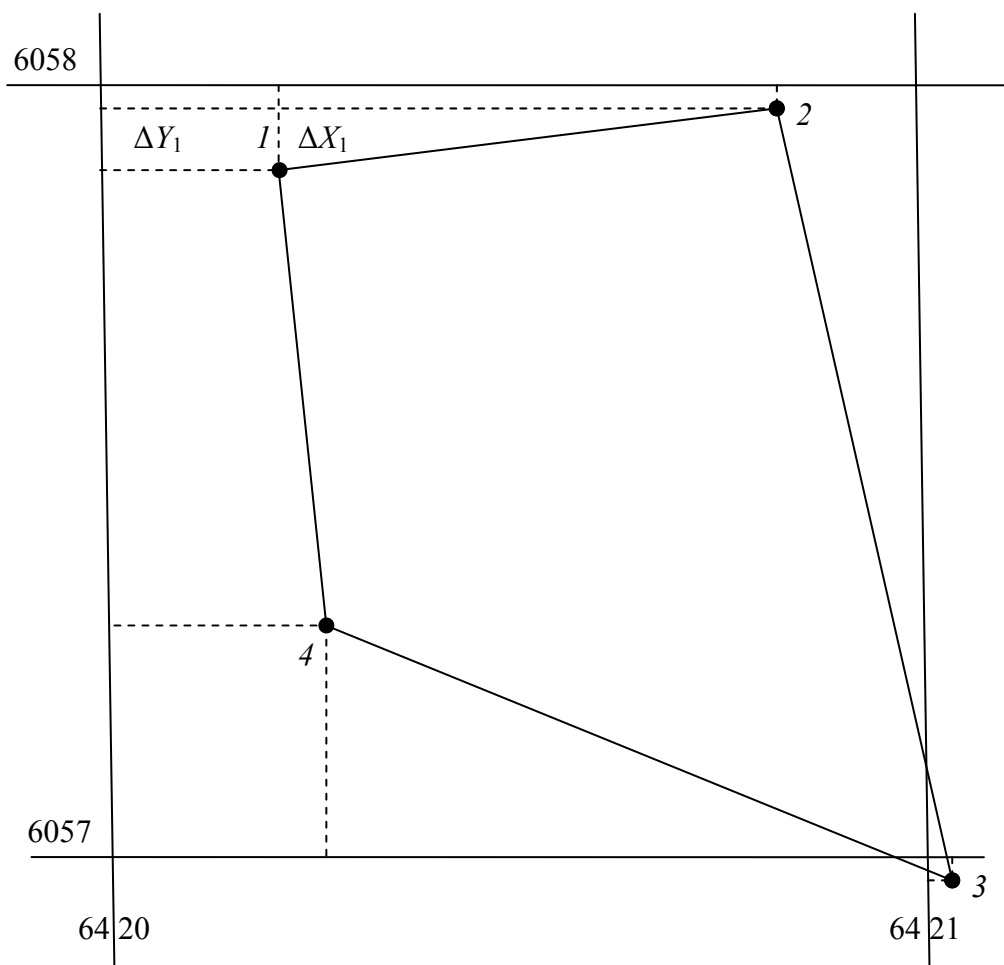


Рисунок 10 – Определение прямоугольных координат по топографической карте

1.3.6. Задание 3

Определения прямоугольных координат

По фрагменту геодезической карты определяются прямоугольные координаты всех вершин четырехугольного полигона 1–2–3–4. Определение прямоугольных координат производится с использованием циркуля измерителя и поперечного масштаба. Результаты определения вносятся в таблицу 3.

Таблица 3 – Определение прямоугольных координат

№ точки	Прямоугольные координаты	
	X	Y
1	6057886	6420222
2	6057968	6420828
3	6056984	6421022
4	6057310	6420258

1.4. Ориентирование линий.

Азимуты, магнитные азимуты, дирекционные углы и румбы

Ориентировать линию на местности – значит найти ее направление относительно меридиана. В качестве углов, определяющих направление линий, служат азимуты, дирекционные углы и румбы.

Геодезическим азимутом называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления геодезического меридиана, проходящего через данную точку до заданного направления по ходу часовой стрелки. Они изменяются от 0 до 360 градусов. Меридианы не параллельны друг другу. Угол между направлением двух меридианов в данных двух точках называется сближением γ меридианов, обозначается через направление истинного меридиана и вычисляется путем астрономических наблюдений. По этой причине прямой и обратный азимуты различаются не ровно на 180° , а на величину, равную $180^\circ \pm \gamma$, где γ – величина сближения меридианов. Поэтому для вычисления направления линий пользуются дирекционными углами. На территории, для которой составляются карты и планы, один из геодезических меридианов принимают за осевой меридиан, совмещают его с осью абсцисс системы прямоугольных координат и относительно его ориентируют все линии местности.

Прямое измерение геодезического азимута выполняется транспортиром по ходу часовой стрелки от северного направления геодезического меридиана, проходящего через начальную точку, до заданного направления. Направление этого меридиана практически параллельно линиям, ограничивающим карту с запада на восток по внутренней рамке листа. Поэтому возможен параллельный перенос любой из них так, чтобы выбранная линия проходила через начальную точку.

Косвенное измерение геодезического азимута получают путем вычислений по формуле $A = \alpha + \gamma$, где α – дирекционный угол заданной линии, γ – сближение меридианов в начальной точке этой линии.

Сближение меридианов в проекции Гаусса – Крюгера вычисляют по формуле $\gamma = (L - L_0) \sin B$, где L – геодезическая долгота начальной точки заданной линии, L_0 – геодезическая долгота осевого меридиана, B – геодезическая широта точки.

Из приведенной формулы следует, что для точек, находящихся к востоку от осевого меридиана, величина сближения меридианов положительная, т.е. $\gamma > 0$, а к западу эта величина имеет отрицательное значение, т.е. $\gamma < 0$.

В настоящее время рассчитаны таблицы сближения меридианов на один километр дуги параллели.

Магнитные азимуты. На практике часто пользуются магнитными азимутами. Направление магнитного меридиана определяется направле-

нием магнитной стрелки. Как и геодезический азимут, магнитный азимут отсчитывается от северного направления магнитного меридиана (направления северного конца магнитной стрелки) по ходу часовой стрелки до заданного направления.

Магнитный меридиан, как правило, не совпадает с истинным меридианом, так как магнитные полюса смещены относительно истинных полюсов земли. Угол между истинным меридианом и магнитным называется склонением магнитной стрелки δ . Магнитный азимут равен

$$A_m = A_{\text{ист.}} - \delta.$$

Магнитный азимут можно получить путем косвенных измерений по формуле $A_m = \alpha + \gamma - \delta$, где α – дирекционный угол заданного направления, γ – величина сближения меридианов, δ – величина

склонения магнитной стрелки. Склонение магнитной стрелки может быть как восточным, когда северное направление магнитного меридиана отклоняется к востоку от геодезического меридиана, так и западным, когда стрелка отклоняется к западу от геодезического меридиана. Восточное склонение имеет знак «плюс», а западное – «минус». Склонение изменяется с изменением времени и места. В европейской части России восточное склонение колеблется от 0° (в районе Калининграда) до 20° (в районе Нарьян-Мара). На одном и том же месте земной поверхности в течение веков происходит изменение склонения магнитной стрелки в пределах десятков градусов. Годовое склонение в Европе в среднем близко $5'$. В средних широтах России отмечаются суточные колебания склонения магнитной стрелки в пределах $15'$.

Дирекционный угол – это горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, параллельной ему, до заданного направления по часовой стрелке. В отличие от азимутов, дирекционный угол постоянен на протяжении всего направления. Прямой и обратный дирекционные углы отличаются ровно на 180° , т.е. $\alpha_{\text{обр.}} = \alpha_{\text{пр.}} \pm 180^\circ$. При определении дирекционного угла на местности необходимо знать значение истинного азимута и величину сближения меридианов γ , тогда $\alpha = A_{\text{ист.}} + \gamma$. Значение величины γ подписывается под южной стороной рамок топографических карт.

Измерение дирекционных углов по картам можно проводить как прямым (с помощью транспортира), так и косвенным способом (решая обратные геодезические задачи). Помимо дирекционных углов в геодезии пользуются румбами.

Румб – это острый угол, отсчитываемый от северного или южного конца меридиана по или против часовой стрелки до заданного направления. Так как румбы могут иметь одинаковые значения в разных четвертях, то перед численным значением румба указывается буквенное значение

четверти: I четверть – СВ, II четверть – ЮВ, III четверть – ЮЗ, IV четверть – СЗ.

Румбы еще называют таблитчатыми углами, так как все геодезические таблицы рассчитаны от 0° до 90° .

1.4.1. Соотношение дирекционных углов и румбов

Соотношение дирекционных углов и румбов показано на рисунке 11.

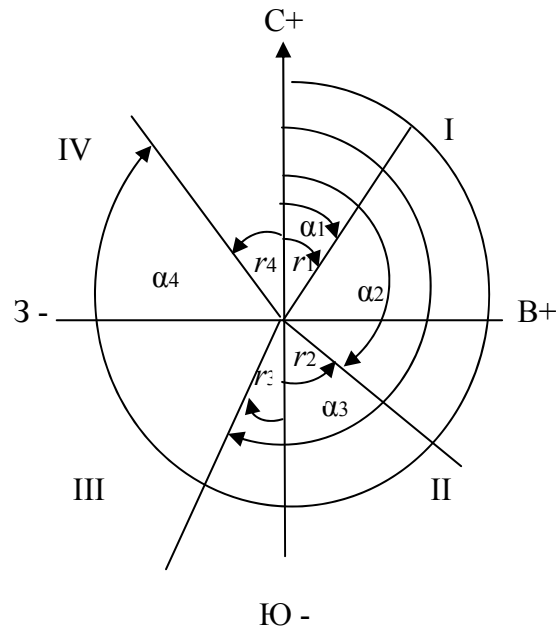


Рисунок 11 – Соотношение между дирекционными углами и румбами

В первой четверти дирекционный угол α равен румбу r .

Во второй четверти дирекционный угол равен $\alpha = 180^\circ - r$.

В третьей четверти дирекционный угол равен $\alpha = 180^\circ + r$.

В четвертой четверти дирекционный угол равен $\alpha = 360^\circ - r$.

Соотношение дирекционных углов и румбов, а также знаки приращения координат даны в таблице 4.

Таблица 4 – Соотношение между дирекционными углами и румбами

Четверти	I – СВ	II – ЮВ	III – ЮЗ	IV – СЗ
Дирекционный угол	$\alpha = r$	$\alpha = 180^\circ - r$	$\alpha = 180^\circ + r$	$\alpha = 360^\circ - r$
Румб	$r = \alpha$	$r = 180^\circ - \alpha$	$r = \alpha - 180^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$
Знаки приращения координат	$\Delta X+; \Delta Y+$	$\Delta X-; \Delta Y+$	$\Delta X-; \Delta Y-$	$\Delta X+; \Delta Y-$

1.4.2. Пример определение углов ориентирования по топографическим картам

Пусть требуется определить направление линии 1–2. Для определения дирекционного угла продолжаем линию 1–2 до пересечения с ближайшей вертикальной линией километровой сетки. Приложив к точке пересечения ноль транспортира (рисунок 12), отсчитываем угол по часовой стрелке от северного направления линии километровой сетки.

Например: дирекционный угол, показанный на рисунке 12, равен $82^{\circ}30'$. Используя данные о величине склонения магнитной стрелки и величине сближения меридианов, подписанных в нижнем юго-западном углу карты, и схемы расположения осевого, истинного и магнитного меридианов (см. рисунок 2), определяем величину истинного меридиана и магнитного азимута.

$$A_M = \alpha_{1-2} + \gamma - \delta = 82^{\circ}30' + (-0^{\circ}58') - (+6^{\circ}00') = 82^{\circ}30' - 0^{\circ}58' - 6^{\circ}00' = 75^{\circ}32';$$

$$A_{ист} = \alpha + \gamma = 82^{\circ}30' + (-0^{\circ}58') = 81^{\circ}32'.$$

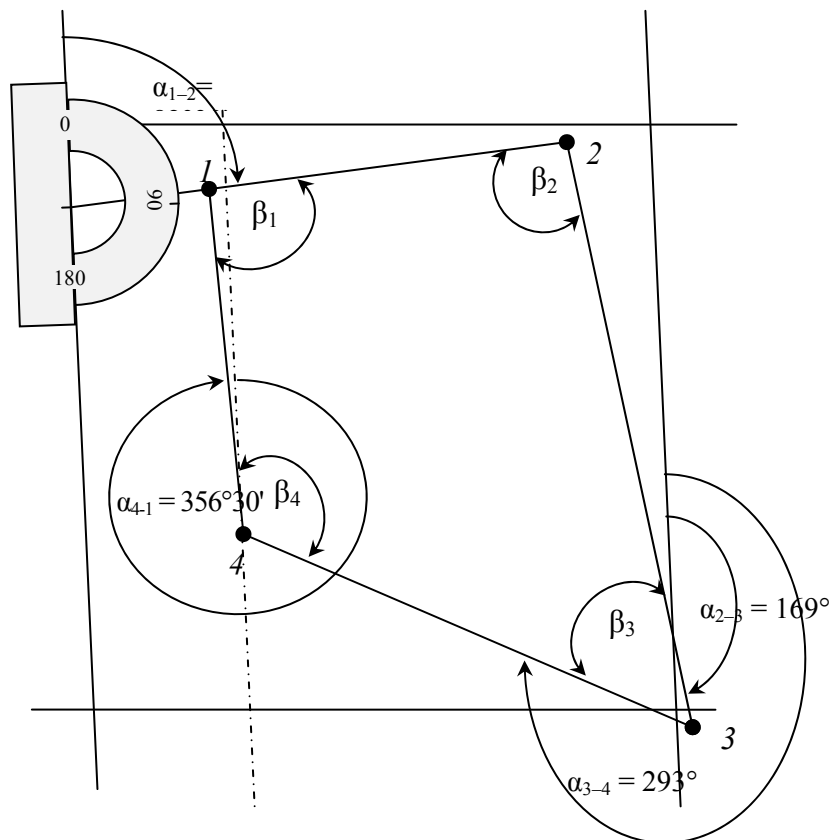


Рисунок 12 – Определение дирекционных углов по топографической карте

Обратный дирекционный угол направления 1–2 (т.е. направления 2–1) будет равен:

$$\alpha_{2-1} = \alpha_{1-2} \pm 180^{\circ} = 82^{\circ}30' + 180^{\circ} = 262^{\circ}30'.$$

Румб направления 1–2 равен дирекционному углу; так как дирекционный угол соответствует 1 четверти, $r_{1-2} = СВ 82^{\circ}30'$

Определяем дирекционные углы, магнитные и истинные азимуты, румбы последующих направлений.

Правильность измерения дирекционных углов можно проверить, замерив внутренние углы четырехугольника, так как сумма внутренних углов этой фигуры можно определить по формуле

$$\Sigma\beta = 180^{\circ}(n - 2) = 180^{\circ} (4 - 2) = 360^{\circ}.$$

Внутренние углы можно вычислить через значения дирекционных углов. Из формулы $\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} + 180^{\circ} - \beta$, где $\alpha_{\text{посл}}$ – дирекционный угол последующего направления, $\alpha_{\text{пред}}$ – дирекционный угол предыдущего направления, β – внутренний угол, образованный этими направлениями (рисунок 11), получаем $\beta = \alpha_{\text{пред}} + 180^{\circ} - \alpha_{\text{посл}}$.

Например:

$$\beta_2 = \alpha_{1-2} + 180^{\circ} - \alpha_{2-3} = 82^{\circ}30' + 180^{\circ} - 169^{\circ} = 93^{\circ}30';$$

$$\beta_3 = \alpha_{2-3} + 180^{\circ} - \alpha_{3-4} = 169^{\circ} + 180^{\circ} - 293^{\circ} = 56^{\circ};$$

$$\beta_4 = \alpha_{3-4} + 180^{\circ} - \alpha_{4-1} = 293^{\circ} + 180^{\circ} - 356^{\circ}30' = 116^{\circ}30';$$

$$\beta_1 = \alpha_{4-1} + 180^{\circ} - \alpha_{1-2} = 356^{\circ}30' + 180^{\circ} - 82^{\circ}30' = 454^{\circ} - 360^{\circ} = 94^{\circ}.$$

Если полученный угол больше 360° , то отнимаем 360° .

Определяем сумму внутренних углов:

$$\Sigma\beta = 93^{\circ}30' + 56^{\circ} + 116^{\circ}30' + 94^{\circ} = 360^{\circ}.$$

Сумма вычисленных внутренних углов равна теоретической сумме, значит измерение дирекционных углов произведено верно.

1.4.3. Задание 4

Определение углов ориентирования по топографическим картам

По фрагменту топографической карты определяются дирекционные углы всех направлений (сторон) четырехугольного полигона 1–2–3–4.

Определяются значения истинного и магнитного азимутов и румбы всех направлений (сторон) полигона. Данные вносятся в таблицу 5.

Таблица 5 – Определение углов ориентирования

Направление	Дирекционный угол	Истинный азимут	Магнитный азимут	Румб
1–2	$82^{\circ}30'$	$81^{\circ}32'$	$75^{\circ}32'$	СВ $82^{\circ}30'$
2–3	169°	$168^{\circ}02'$	$162^{\circ}02'$	ЮВ 11°
3–4	293°	$292^{\circ}02'$	$286^{\circ}02'$	СЗ 67°
4-1	$356^{\circ}30'$	$355^{\circ}32'$	$349^{\circ}32'$	СЗ $3^{\circ}30'$

1.5. Пример определения прямоугольных координат точек аналитическим способом

Координаты точек на топографическом плане, помимо графического способа, можно вычислить аналитическим способом (решая прямые геодезические задачи).

Прямая геодезическая задача

Даны координаты первой точки (X_1 и Y_1), горизонтальное расстояние от первой до второй точки d_{1-2} и дирекционный угол α_{1-2} линии 1–2 (рисунок 13). Требуется определить координаты точки 2 (X_2 и Y_2).

Из треугольника 1–2–3 находим приращения координат ΔX и ΔY .

$$\Delta X = d_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2};$$

$$\Delta Y = d_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2}.$$

Координаты точки 2 находим по формулам

$$X_2 = X_1 + \Delta X;$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y.$$

Для определения координат точек 1, 2, 3, 4 решаем прямые геодезические задачи, беря за основу координаты точки 1 ($X_1 = 6057886$ м; $Y_1 = 6420222$ м) (см. таблицу 3), определенные графическим способом.

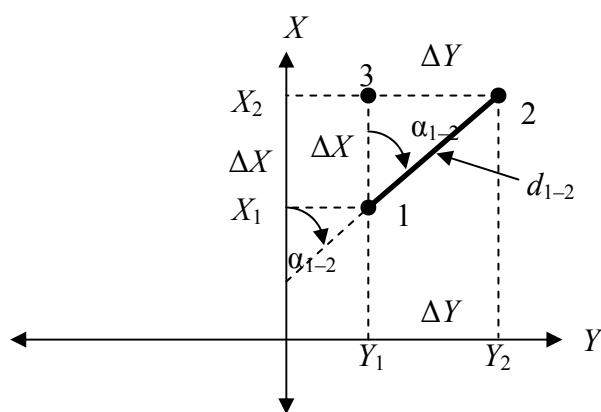


Рисунок 13 – Прямая геодезическая задача

Находим приращения координат линии 1–2:

$$\Delta X_{1-2} = d_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2} = 604,0 \text{ м} \cdot \cos 82^\circ 30' = 80,14 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{1-2} = d_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2} = 614,0 \text{ м} \cdot \sin 82^\circ 30' = 608,75 \text{ м}.$$

При расчетах приращений координат достаточно взять значения метров, т.е. три или четыре последних цифры. Приращения координат по осям X и Y имеют положительные значения, так как дирекционный угол отвечает первой четверти.

Перед тем как взять функцию косинуса или синуса, переводим значение градусов из градусной системы в десятичную. Для этого значения минут делим на 60, а затем прибавляем значение градуса: $(30' : 60) + 48^\circ = 48,5^\circ$. Эта операция осуществляется при положении DEG на калькуляторе.

Определяем координаты точки 2 по формулам

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2} = 6057886 + 80,14 = 6057966,14 \text{ м};$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2} = 6420222 + 608,75 = 6420830,75 \text{ м}.$$

Разница между значениями координат точки 2, полученными аналитическим и графическим способами измерений, составит:

$$X_{A2} - X_{Г2} = 6057966,14 - 6057968 = -1,86 \text{ м};$$

$$Y_{A2} - Y_{Г2} = 6420830,75 - 6420828 = 2,75 \text{ м}.$$

Эта разница объясняется точностью измерений по карте, особенно при измерение углов транспортиром.

Определяем приращения координат остальных направлений и вычисляем координаты оставшихся вершин четырехугольника.

1.5.1. Задание 5

Определение прямоугольных координат аналитическим способом

Решая прямые геодезические задачи, студенты определяют прямоугольные координаты вершин четырехугольного полигона аналитическим способом. Полученные данные вносятся в таблицу 6. В последнем столбце таблицы указывается разница между координатами вершин, определенными графическим и аналитическим способами.

Таблица 6 – Соотношение координат, определенных графическим и аналитическим способами

Номер точки	Прямоугольные координаты. Графический способ		Прямоугольные координаты. Аналитический способ		Величина расхождения, м	
	$X_{Г}$	$Y_{Г}$	$X_{А}$	$Y_{А}$	$X_{А}-X_{Г}$	$Y_{А}-Y_{Г}$
1	6057886	6420222	6057885,68	6420222	-0,32	0
2	6057968	6420828	6057966,14	6420830,75	-1,86	2,75
3	6056984	6421022	6056986,44	6421021,18	2,44	-0,82
4	6057310	6420258	6057310,75	6420257,16	0,75	-0,84

1.6. Примеры определения дирекционных углов и длин линий аналитическим способом

Для определения длин линий и значений дирекционных углов решаем обратные геодезические задачи, используя значения координат точек, вычисленных аналитическим способом данные (таблица 6).

Обратная геодезическая задача

Даны координаты точек 1(X_1, Y_1) и 2 (X_2, Y_2). Требуется определить дирекционный угол (α_{1-2}) направления 1–2 и расстояние d_{1-2} . Из треугольника 1–2–3 (рисунок 13) можно определить, что $\Delta Y / \Delta X = \operatorname{tg} \alpha_{1-2}$. Эта формула справедлива только для I четверти, в остальных четвертях мы получаем тангенс румба направления 1–2. Расстояние d_{1-2} определяем по формулам

$$d_{1-2} = \Delta X_{1-2} / \cos \alpha_{1-2}; \quad d_{1-2} = \Delta Y_{1-2} / \sin \alpha_{1-2}.$$

Находим приращения координат по формулам

$$\Delta X_{1-2} = X_2 - X_1 = 6057966,14 - 6057885,68 = 80,46;$$

$$\Delta Y_{1-2} = Y_2 - Y_1 = 6420830,75 - 6420222 = 608,75,$$

где X_2, Y_2 – координаты второй точки линии 1–2;

X_1, Y_1 – координаты первой точки линии 1–2 (данные берем из таблицы 6).

Определяем тангенс румба направления 1–2.

$$\operatorname{tg} r_{1-2} = \Delta Y_{1-2} / \Delta X_{1-2} = 608,75 / 80,46 = 7,5659,$$

что соответствует углу $82,4707^\circ$. Первые две цифры после запятой соответствуют значениям минут, а вторые – секунд. Для того чтобы перевести минуты и секунды из десятичной системы в градусную, умножаем их значения на 0,6. $47 \times 0,6 = 28'$; $7 \times 0,6 = 4''$. Таким образом, $r_{1-2} = 82^\circ 28' 04''$.

По знакам приращения координат определяем направление. Оба приращения имеют знак «плюс», следовательно, направление 1–2 отвечает первой четверти, в которой дирекционный угол равен румбу.

Следовательно, $\alpha_{1-2} = r_{1-2} = 82^\circ 28' 04''$.

Определяем длину линии 1–2.

$$d_{1-2} = \Delta X_{1-2} / \cos \alpha_{1-2} = 80,46 / 0,131033 = 614,04 \text{ м};$$

$$d_{1-2} = \Delta Y_{1-2} / \sin \alpha_{1-2} = 608,75 / 0,991378 = 614,04 \text{ м};$$

$$d_{1-2 \text{ ср}} = 614,04 \text{ м}.$$

Длину линии можно определить по теореме Пифагора по формуле

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}.$$

1.6.1. Задание 6

Определение дирекционных углов и длин линий аналитическим способом

Решая обратные геодезические задачи, студенты определяют длины линий (стороны четырехугольного полигона) и дирекционные углы направлений (сторон полигона).

Таблица 7 – Определение дирекционных углов и длин линий аналитическим способом

Направление	Длина d , м Графический способ	Длина d , м Аналитический способ	Расхождение, м	Дирекционный угол. Граф. способ	Дирекционный угол. Аналит. способ	Расхождение
1–2	614	614,04	0,04	82°30'	82° 28' 04"	1'56"
2–3	998	997,99	–0,01	169°	169°00'01"	1"
3–4	830	830	0,00	293°	293°00'01"	1"
4–1	576	575,99	–0,01	356°30'	356°30'02"	2"

Результаты вычислений вносятся в таблицу 7, где, помимо значений величин углов и сторон, указываются расхождения между этими значениями, полученными графическим и аналитическим способами.

1.7. Измерение площадей участков земной поверхности

Измерение площадей широко применяется при проведении землеустроительных и земельно-кадастровых работах. Эти работы включают количественный учет, межевание и инвентаризацию земель, а также проведение инженерно-геодезических работ, при отводе участков под строительство, подсчете объема земляных масс, объема водохранилищ и т.д. Измерение площадей может выполняться как непосредственно на местности, так и на планах и картах.

При определении площадей участков используются аналитический, графо-аналитический и механический способы измерения.

1.7.1. Графо-аналитический способ

Применяется при измерении на планах и картах небольших участков с криволинейными очертаниями границ. Этот способ предусматривает измерение замкнутых контуров, изображенных на планах или картах, с помощью палетки. Палетка изготавливается на прозрачной основе: целлулоиде, плексигласе, восковке. Обычно используется два вида палеток: квадратная и параллельная.

Измерение площадей с помощью квадратной палетки

Квадратная палетка применяется для измерения площадей до 2 см^2 . Она представляет собой сеть квадратов со стороной от 1 до 2 миллиметров (например, на изображенной палетке размер квадратов равен $2 \times 2 \text{ мм}$). Палетка накладывается на измеряемый участок таким образом, чтобы его контур полностью поместился на палетке (рисунок 14).

Площадь измеряется простым суммированием целых квадратов, находящихся внутри замкнутого контура, в квадратных миллиметрах. Доли квадратов, отсекаемых контуром, учитывают на глаз. Приняв во внимание численный масштаб карты, вычисляют площадь в гектарах или квадратных метрах.

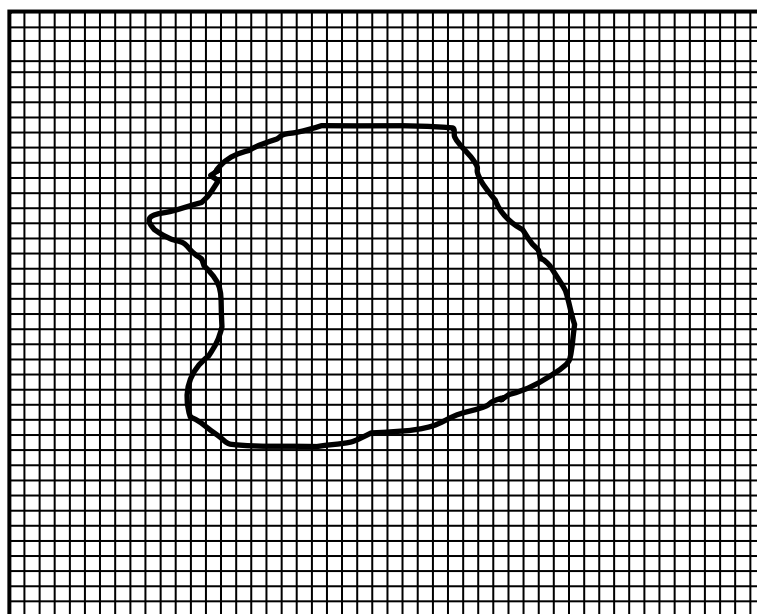


Рисунок 14 – Измерение площади участка квадратной палеткой

При измерениях квадратной палеткой можно рекомендовать студентам вынести контур измеряемой площади на прозрачную основу, а затем наложить ее на лист миллиметровой бумаги. Это сократит время измерений и повысит их точность.

Измерение площадей с помощью параллельной палетки

Параллельная палетка применяется для измерения площадей до 10 см^2 . Для определения площади параллельной палеткой ее накладывают на план так, чтобы крайние точки контура участка находились посередине между линиями палетки. В результате замкнутый контур разбивается на отдельные трапеции с высотой равной $h = 2 \text{ мм}$ и средними линиями $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$. Площадь каждой трапеции равна $S_{\text{тр}} = L_i h$.

Площадь всей фигуры равна сумме площадей трапеций. Измерения производятся следующим образом. Сумму расстояний постепенно набирают в раствор циркуля (рисунок 15).

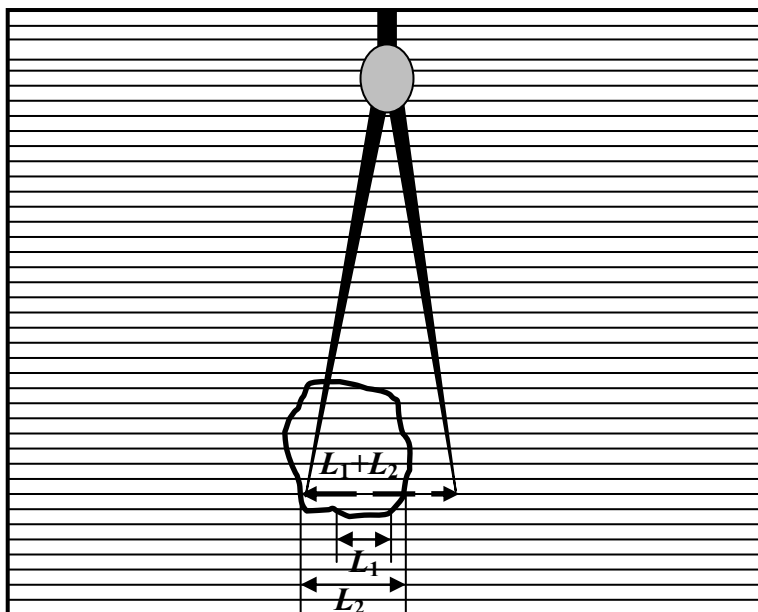


Рисунок 15 – Измерение площади с помощью параллельной палетки

Общую длину измеренных отрезков определяют по поперечному масштабу, учитывая масштаб плана.

Общую длину, равную сумме всех отрезков, умножаем на h и получаем искомую площадь:

$$L_{\text{общ.}} = L_1 + L_2 + L_3 \dots L_n ; S = L_{\text{общ.}} \cdot h.$$

Когда измеряемая площадь больше допустимого значения, т.е. сумма длин измеряемых линий больше максимального раствора циркуля, определяем её по поперечному масштабу длины всех линий, находим их сумму и умножаем на h .

1.7.2. Аналитический способ

Если измеряемый участок имеет прямоугольные формы, т.е. границы участка представлены прямыми линиями, а повороты между ними – углами, то вычислить площадь участка можно, используя простые геометрические фигуры. Например, четырехугольник 1–2–3–4 можно разделить на два треугольника, площади, которых определяются по формуле $S_{\Delta} = \frac{1}{2} a \cdot h$ (рисунок 16).

Площадь треугольника 1–2–4 равна: $S_{\Delta_{1-2-4}} = \frac{1}{2}(864 \cdot 412) = 177984 \text{ м.}$

Площадь треугольника 2–3–4 равна: $S_{\Delta_{2-3-4}} = \frac{1}{2}(1000 \cdot 684) = 342000 \text{ м.}$

Площадь четырехугольника 1–2–3–4 равна сумме площадей треугольников. $S_{1-2-3-4} = S\Delta_{1-2-4} + S\Delta_{2-3-4} = 177984 + 342000 = 519984 \text{ м} = 51,998 \text{ га}$.

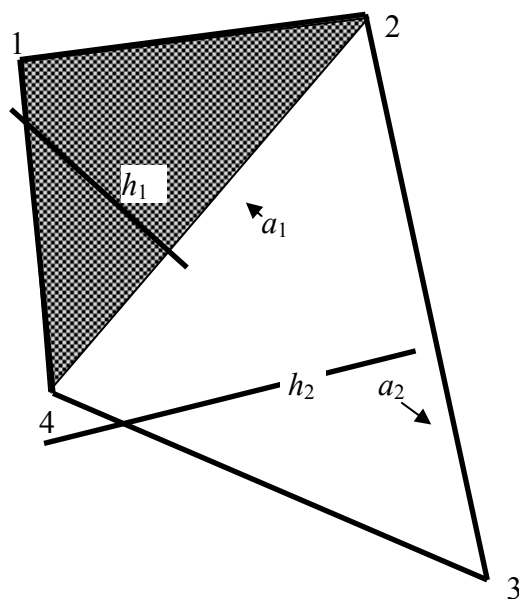


Рисунок 16 – Определение площади четырехугольника аналитическим способом

Измерение площади полигона по прямоугольным координатам его вершин

Измерение площади полигона по плоским прямоугольным координатам его вершин также относится к аналитическому способу

Определение площади производится по формулам

$$S = \frac{1}{2} \sum x_i (y_{i+1} - y_{i-1});$$

$$S = \frac{1}{2} \sum y_i (x_{i-1} - x_{i+1}),$$

где $x_{i+1}; y_{i+1}$ – координаты последующей точки;

$x_{i-1}; y_{i-1}$ – координаты предыдущей точки.

Из таблицы 6 выписываем координаты вершин четырехугольника 1–2–3–4 и вносим их в таблицу 8. Выбирая соответствующие данные из таблицы 8, вычисляем площадь четырехугольника 1–2–3–4.

$$S = \frac{1}{2} [1885,68(830,75 - 257,16) + 1966,14 (1021,18 - 222) + 986,44 (257,16 - 830,75) + 1310,75 (222 - 1021,18)] = 519785 \text{ м}^2 = 51,98 \text{ га}.$$

Для контроля площадь четырехугольника 1–2–3–4 вычисляем по второй формуле

$$S' = \frac{1}{2} [222(1310,75 - 1966,14) + 830,75(1885,68 - 986,44) + 1021,18 (1966,14 - 1310,75) + 257,16 (986,44 - 1885,68)] = 519785 \text{ м}^2 = 51,98 \text{ га}.$$

Идентичность площадей четырехугольного полигона, полученных по двум формулам, свидетельствует о правильности выполненных расчетов.

Таблица 8

Номер вершины	Координаты вершин четырехугольника 1–2–3–4			
	x_i	y_i	x_{i+1} y_{i+1}	x_{i-1} y_{i-1}
1	1885,68	222	1 966,14 830,75	1310,75 257,16
2	1966,14	830,75	986,44 1021,18	1885,68 222
3	986,44	1021,18	1310,75 257,16	1 966,14 830,75
4	1310,75	257,16	1885,68 222	986,44 1021,18

1.7.3. Механический способ

Определить площадь замкнутого контура на плане или карте механическим способом можно с помощью средств измерений, которые называются планиметрами. Планиметром называется прибор, который путем обвода плоской фигуры любой формы определяет ее площадь. На практике применяются два вида планиметров: полярные и роликовые.

Полярные планиметры

Полярные планиметры (рисунок 17) делятся на планиметры с механическим и с электронным счетными устройствами. У полярных планиметров одна точка (полюс) во время измерения площади остается неподвижной. На металлическом ободке счетного ролика нанесены рифельные штрихи для фрикционного сцепления с поверхностью карты.

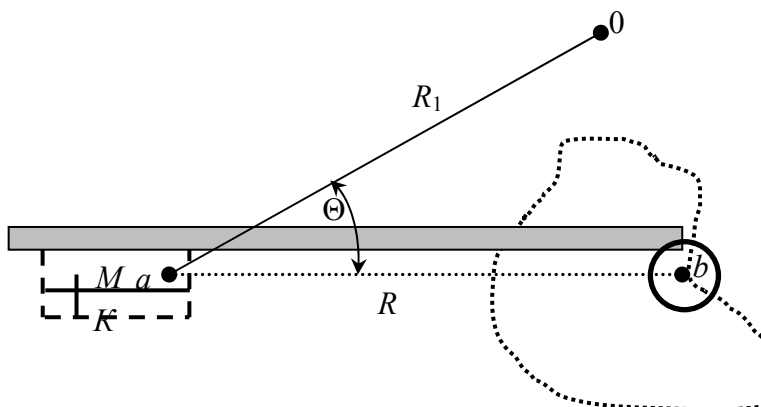


Рисунок 17 – Схема полярного планиметра:
 0 – полюс; a – ось вращения рычагов; R_1 – полюсный рычаг;
 b – обводной индекс; ab – ось обводного рычага; R – длина обводного рычага;
 M – счетный механизм; K – плоскость счетного ролика;
 Θ – угол между рычагами

Площадь участка до 400 см² измеряют в следующей последовательности:

1. Устанавливают полюс планиметра вне контура участка.
2. Обводной индекс b устанавливается на исходной точке контура, положение которой отмечается и берется отсчет по счетному приспособлению n_1 .
3. Контур плавно обводится по часовой стрелке с помощью обводного индекса до исходной точки.
4. По отсчетному устройству берется отсчет n_2 . Разность отсчетов $n = n_1 - n_2$ равна площади обведенной фигуры, выраженной в делениях планиметра.
5. Определяется цена деления планиметра по формуле $p = R \tau$, где R – длина обводного рычага; τ – деление планиметра, равное 1:1000 деления окружности ободка счетного ролика.
6. Длина обводного рычага устанавливается с помощью верньера (нониуса) по шкале, нанесенной на металлической штанге планиметра.
7. Определяется относительная цена деления планиметра по формуле $p' = p M^2$, где M – знаменатель численного масштаба плана.
8. Определяем площадь контура по формуле $S = n p'$.

Определение площади с помощью роликовых планиметров

Роликовые планиметры являются электронным средством измерения.

Наиболее удобными в применении являются роликовые планиметры с микропроцессором, который позволяет быстро измерять с учетом масштаба плана или карты не только площади участков, но и длины линий, дуг и радиусы кругов. Результаты измерения линий могут фиксироваться на дисплее в миллиметрах, сантиметрах, километрах, а площади – в квадратных метрах или гектарах. Отличительной особенностью роликовых планиметров этого типа является возможность подключения его к компьютеру для получения координат точек с целью их дальнейшей обработки.

В данном пособии рассматривается электронный планиметр *PLANIX 7* (рисунок 18, 19), который относится к роликовым планиметрам с микропроцессором.

При определении площади планиметром *PLANIX 7* рекомендуется производить ее измерение не менее трех раз, так как площадь, вычисленная как среднее из нескольких замеров, наиболее приближена к истинному значению. Для этого после каждого измерения площади необходимо нажимать клавишу *END*, а после окончания измерений – клавишу *AVER*. В результате получаем среднее значение площади из нескольких замеров. Например, средняя величина площади четырехугольного полигона 1–2–3–4, полученная из трех замеров планиметром *PLANIX 7*, равна 520500 м² или 52,05 га. Более подробно порядок работы с планиметром *PLANIX 7* описан в мультимедийном пособии «Измерение площадей по топографическим картам и планам» [10] и в лекции №5 [7], с которыми можно ознакомиться в электронной библиотеке института и на кафедре «Землеустройство и геодезия».

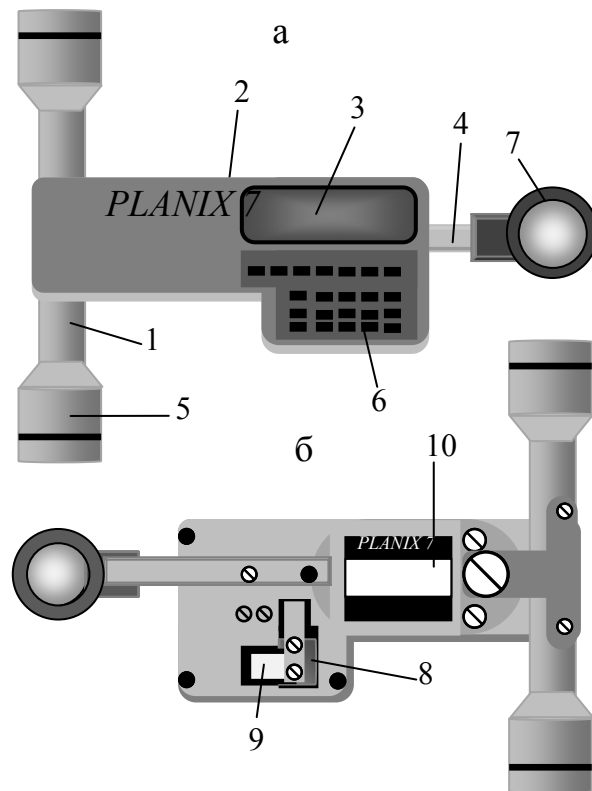


Рисунок 18 – Цифровой планиметр *PLANIX 7*:
 а – вид спереди; б – вид сзади; 1 – роликовый механизм; 2 – разъем; 3 – экран;
 4 – ручка трассера; 5 – ролик; 6 – функциональные клавиши; 7 – линза трассера;
 8 – интегрирующее колесо; 9 – головка; 10 – аккумуляторная батарея

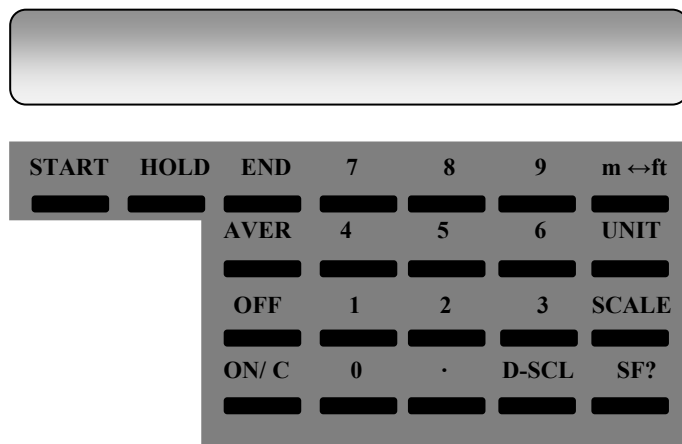


Рис.19. Функциональные клавиши:
 1. START – готовность к началу измерений. На экране дисплея отображается «0".
 2. HOLD – удержание в памяти площади измеренной фигуры. При повторном нажатии клавиши HOLD можно продолжить измерение. С помощью этой клавиши производится накопление измерений.
 3. END – используется для неоднократного измерения одной и той же площади.
 4. AVER – каждое измерение сохраняется нажатием клавиши END и усредняется нажатием клавиши AVER.
 5. ON/C – включение питания (очистка памяти).
 6. OFF – выключение питания.
 7. 0 – 9 – цифровые клавиши.
 8. (m ↔ ft) – выбор метрической или английской системы единиц.
 9. UNIT – отображение выбранных единиц измерений; см², м², км² в метрической системе измерений и квадратных дюймов, квадратных футов и акров в английской системе измерений.
 10. SCALE – клавиша ввода масштаба.
 11. D – SCL – клавиша ввода двойного масштаба.
 12. SF? – запрос масштабного коэффициента

1.7.4 Задание 7

Измерение площадей аналитическим, графо-аналитическим и механическим способами

Студенты измеряют площадь заданного им полигона (четырёхугольника) как сумму двух треугольников, а также по прямоугольным координатам вершин четырёхугольника и с помощью планиметра *PLANIX 7*. Данные измерений вносятся в таблицу 9. В таблице 9 приведены площади четырёхугольника 1–2–3–4, вычисленные тремя разными способами.

Таблица 9 – Результаты измерения площади четырёхугольного полигона

Наименование	Аналитический способ		Механический способ
	Вычисление площади как суммы площадей простых геометрических фигур	Вычисление площади полигона по прямоугольным координатам его вершин	
Площадь, м ²	519984	519785	520500
Площадь, га	51,998	51,98	52,05

Полученные расхождения менее 0,1 га можно считать несущественными.

1.8. Рельеф местности и его изображение. Определение абсолютных отметок точек по топографическим картам

Под рельефом местности подразумевается совокупность неровностей земной поверхности.

Из многочисленных форм рельефа можно выделить следующие:

1. Гора, холм, сопка. Основание горы – подошва, наивысшая точка – вершина, вершина в виде площадки – плато.

2. Котловина, впадина – чашеобразные замкнутые со всех сторон углубления; нижняя часть – дно, верхний край – бровка.

3. Хребет – вытянутая возвышенность, понижающаяся в одном направлении, имеющая два крутых склона, пересечение которых образует ось, называемую водораздельной линией.

4. Лощина – вытянутое углубление местности, понижающееся в одном направлении. Нижняя часть лощины образует водослив или тальвег.

5. Седловина – пониженная часть местности между двумя соседними возвышенностями.

Рельеф местности – важнейший элемент содержания топографических карт. Учету рельефа при всех видах строительства придается первостепенное значение. На современных картах рельеф изображается горизонталями.

Горизонталь – это замкнутая кривая, соединяющая точки с одинаковыми высотными отметками и имеющая следующие свойства:

- а) горизонтали – это замкнутые кривые;
- б) горизонтали не пересекаются;
- в) чем меньше расстояние между горизонталями на карте, тем круче скат на местности, и наоборот.

Расстояние между горизонталями по отвесной линии называется высотой сечения рельефа; она подписывается на картах под линейным масштабом. Расстояние между горизонталями в плане называется заложением. В зависимости от масштаба карты и характера рельефа высота сечения может быть равна 1; 2; 5, 10 метров и т.д. При слабовыраженном рельефе, или более точном его изображении, горизонтали могут проводиться через 0,25 и 0,5 м. Горизонталь представляет собой линию, полученную при пересечении поверхности земли плоскостью, параллельной ее уровенной поверхности (рисунок 20). Для выделения различных форм рельефа, изображенного горизонталями, направления скатов обозначают черточками (бергштрихами), а также надписями (численные значения), где основание цифр направлено в сторону понижения местности.

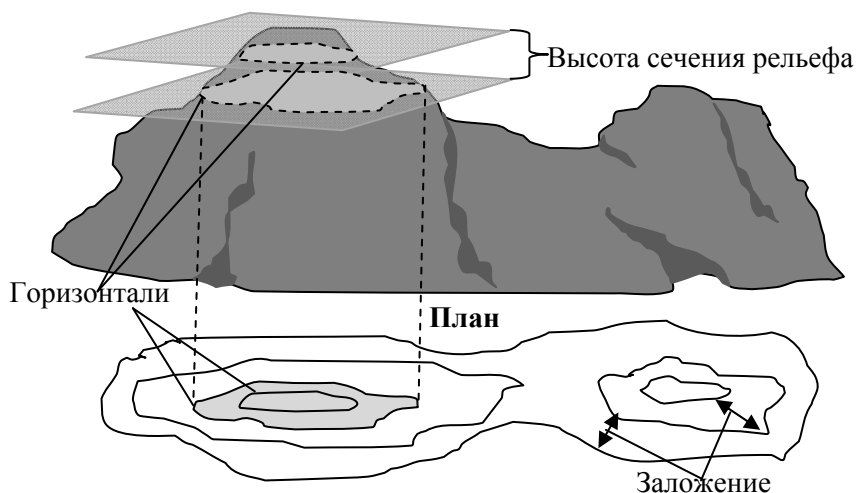


Рисунок 20 – Схема построения горизонталей

Мерой крутизны ската линии служит ее уклон i , который определяется тангенсом угла наклона: $i = \text{tg } \gamma = h/d$, где h – превышение между двумя точками, d – горизонтальное проложение (расстояние между этими точками на плане рисунок 21). Горизонтальное проложение является проекцией измеряемой на местности линии на плоскость; $d = D \cdot \cos \gamma$.

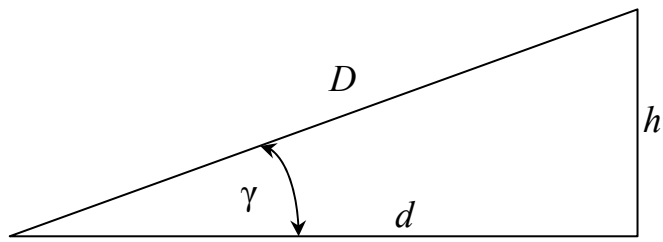


Рисунок 21 – Соотношение горизонтальных проложений d и длин сторон D

1.8.1. Определение отметок точек по топографической карте

Для определения отметок точек по топографической карте необходимо знать высоту сечения рельефа (на карте на рисунке 1 горизонтالي проведены через 2,5 метра), направление ската и отметки горизонталей.

Например: на рисунке 22 показан фрагмент топографической карты. Требуется определить абсолютные отметки точек 1, 2 и построить продольный профиль по линии 1–2. Точка 2 лежит на горизонтали, следовательно ее отметка равна отметке горизонтали $H_2 = 155,00$ м. Проводим через точку 1 прямую – кратчайшее расстояние между горизонталями.

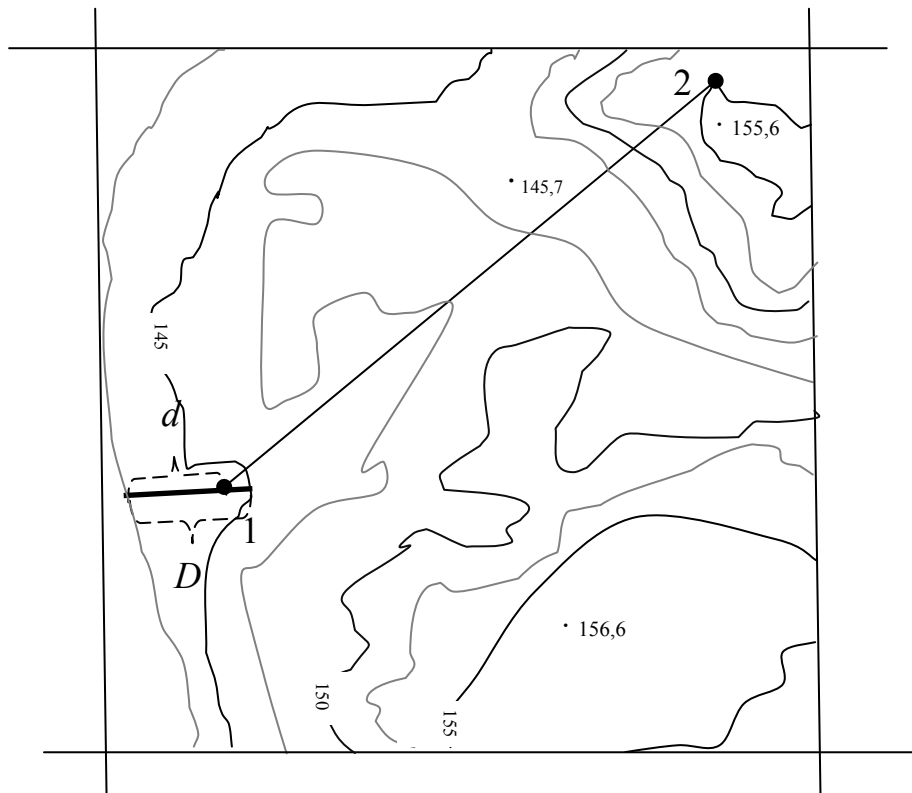


Рисунок 22 – Определение отметок точек по горизонталям

Измеряем расстояние d от младшей горизонтали до точки 1 и замеряем расстояние D между горизонталями. Отметка точки 1 равна:

$$H_1 = H_0 + [(d/D) \cdot (145 - 142,5)] = 142,5 + [(1,4 / 1,7) \cdot 2,5] = 144,56 \text{ м,}$$

где H_0 – отметка младшей из 2-х горизонталей, между которыми расположена точка 1;

d – расстояние в сантиметрах от младшей горизонтали до точки 1;

D – расстояние между горизонталями;

2,5 – высота сечения рельефа.

Определяем превышение между точками 1 и 2.

$$h_{1-2} = H_2 - H_1 = 155 - 144,56 = 10,44 \text{ м.}$$

Расстояние между точками 1 и 2 равно $d_{1-2} = 910$ м. Тогда уклон по линии 1–2 будет равен: $i_{1-2} = h_{1-2} / d_{1-2} = 10,44 / 910 = 0,0115 \%$.

1.8.2. Построения продольного профиля по заданному направлению

Построение профиля по линии 1–2 начинаем с определения на ней положения горизонталей, т.е. горизонтали переносятся на линию 1–2. Затем линия 1–2 разворачивается в горизонтальное положение и определяются абсолютные отметки крайних точек 1; 2 (рисунок 22). Профиль строится в 1:10000 в горизонтальном масштабе и для выразительности в 1:1000 в вертикальном масштабе. Все необходимые для построения профиля данные заносятся в графы (сетки профиля), расположенные в нижней части профиля. На листе миллиметровой бумаги строим графы расстояний и отметок (рисунок 23). Сетка профиля строится таким образом, чтобы верхняя граница верхней графы совпала с утолщенной линией миллиметровки. Начало трассы также выбирается на утолщенной линии, в 5–7 сантиметрах от края листа.

Верхняя граница сетки профиля совпадает с линией условного горизонта, которая выбирается таким образом, чтобы наименьшая отметка горизонтали была на 4 сантиметра выше линии условного горизонта.

Определяем отметку условного горизонта. Например: наименьшей горизонталью, пересекающей линию 1–2, является горизонталь, имеющая отметку 145 метров выше уровня моря. Линия условного горизонта на 4 см ниже отметки 145 метров. В 1:1000 масштабе это соответствует 40 метрам. Следовательно, линия условного горизонта равна: $145 - 40 = 105$ метров.

Для удобства отсчетов принимаем линию условного горизонта, равную 100 метрам. Из точек пересечения линии профиля и горизонталей восстанавливаем перпендикуляры, на которых откладываем в масштабе 1:1000 разницу между отметкой горизонтали и отметкой условного горизонта.

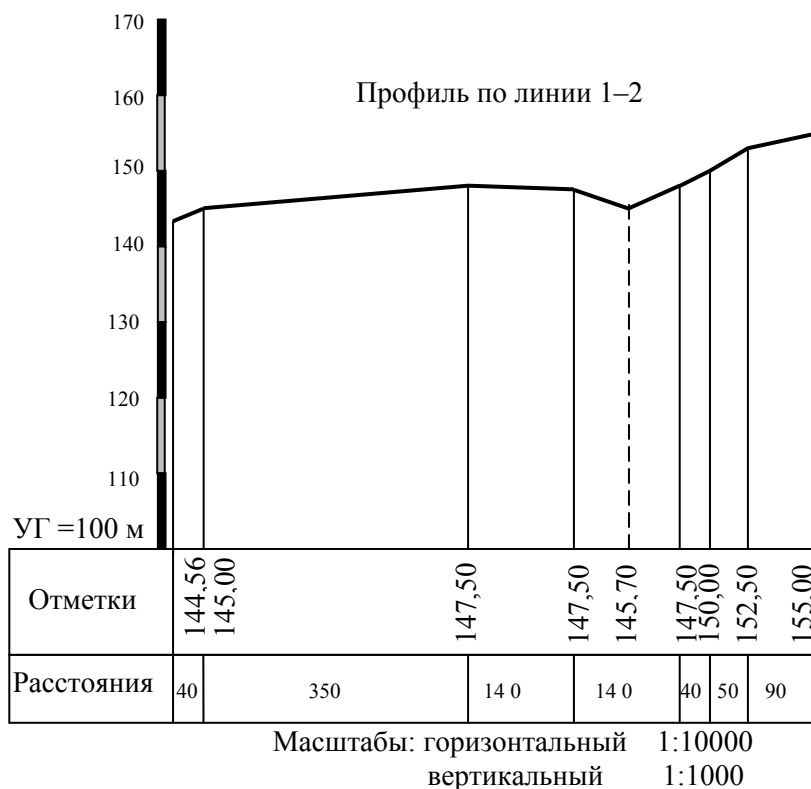


Рисунок 23 – Профиль по линии 1–2

Полученные точки соединяем между собой. В результате получается рельеф местности по линии 1–2.

1.8.3. Задание 8

Определение отметок точек по топографической карте.

Построение продольного профиля по заданному направлению

В задании 8 студенты определяют отметки крайних точек по одному из направлений четырехугольного полигона, причем направление выбирается таким образом, чтобы оно пересекалось с максимальным количеством горизонталей. Например: в четырехугольном полигоне 1–2–3–4 (рисунок 1) таким направлением является линия 2–3. После определения абсолютных отметок крайних точек по линии 2–3 строится продольный профиль в масштабах: горизонтальный 1:10000, вертикальный 1:1000.

1.9. Искажение длин и площадей в проекции Гаусса – Крюгера

Проекция Гаусса – Крюгера является конформной, т.е. при переходе с эллипсоида на плоскость в ней сохраняется подобие бесконечно малых фигур. По мере удаления от осевого меридиана происходит искажение длин линий и площадей. Максимальные искажения характерны для краев зон.

1.9.1. Искажение длин линий в проекции Гаусса – Крюгера

Из подобия бесконечно малых фигур следует, что их стороны будут пропорциональны. Пусть расстояние между точками 1 и 2 равно S , тогда в проекции Гаусса – Крюгера расстояние между ними будет равно

$$S_r = S [1 + (Y_m^2 / 2R^2)],$$

где Y_m – ордината средней точки линии 1–2;

$R = 6371$ км (радиус Земли).

Разностью $\Delta S = S_r - S$ называют поправку в длину линий при переходе с эллипсоида на плоскость в проекции Гаусса – Крюгера.

$$\Delta S = S \cdot (Y_m^2 / 2R^2)$$

Расстояние в проекции будет всегда больше расстояния на эллипсоиде. Для расстояний, расположенных на осевом меридиане, $\Delta S = 0$. По мере удаления от осевого меридиана эта поправка возрастает и достигает максимальных значений на краю зоны.

Например: определяем искажение длины линии 1–2. Координата точки 1 $Y_1 = 6420222$, координата точки 2 $Y_2 = 6420830,75$ (таблица 6), тогда

$$Y_m = (420222 + 420830,75) / 2 = 420526 - 500000 = -79473,63 \text{ м} = -79,47 \text{ км}.$$

Длина линии на карте равна $S_r = 614,04$ м (таблица 7). Требуется определить длину линии на местности и величину искажения при переносе ее с карты на местность.

$$S = S_r / [1 + (Y_m^2 / 2R^2)] = 614,04 / [1 + (-79,47^2 / 2 \cdot 6371^2)] = 613,99 \text{ м}.$$

Так как мы переносим линию с карты на местность, то:

$$\Delta S = S - S_r = 613,99 - 614,04 = -0,05 \text{ м}.$$

Относительное искажение длины линии равно:

$$1/N = (\Delta S : \Delta S) / (S : \Delta S) = 1/12280.$$

1.9.2. Искажение площадей в проекции Гаусса – Крюгера

В проекции Гаусса – Крюгера помимо искажения длин линий получается искажение площадей участков земной поверхности. Если площадь участка на эллипсоиде равна P , то соответствующая ему площадь на плоскости в проекции Г-К равна:

$$P_r = P \cdot [1 + (Y_m^2 / R^2)]$$

Разностью $\Delta P = P_r - P$ называют поправкой за искажение площади при переходе от с поверхности эллипсоида на плоскость в проекции Гаусса – Крюгера.

$$\Delta P = P \cdot (Y_m^2 / R^2),$$

где Y_m – ордината средней точки участка.

Для земельного участка, расположенного вблизи осевого меридиана, поправка $\Delta P = 0$. По мере удаления от осевого меридиана поправка за искажение площади будет заметно возрастать.

Например: по топографической карте (рисунок 1) измерена площадь четырехугольного участка 1–2–3–4, которая равна 51,98 га (таблица 9). Требуется определить площадь участка, при переносе его с топографической карты на местность. Определяем ординату средней точки участка.

$$Y_m = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) / 4 = (420222 + 420830,75 + 421021,18 + 420257,16) / 4 = 420582,77 - 500000 = 79417,23 \text{ м} = 79,42 \text{ км}.$$

Определяем площадь участка на местности.

$$P = P_r / [1 + (Y_m^2 / R^2)] = 51,98 / [1 + (-79,47^2 / 6371^2)] = 51,97 \text{ га}.$$

Так как мы переносим площадь участка с карты на местность, то

$$\Delta P = P - P_r = 51,97 - 51,98 = -0,01 \text{ га}.$$

Относительное искажение площади равно: $1 / N = 1 / 5197$.

1.9.2. Задание 9

Определение искажений в проекции Гаусса – Крюгера при переносе длин линий и площадей участков с карты на местность

В данном задании студенты определяют поправки за искажение длин линий и площадей при переносе их с карты на местность, т.е. с плоскости в проекции Гаусса – Крюгера на земной эллипсоид.

Таблица 10 – Искажение длин линий и площадей в проекции Гаусса – Крюгера

Наименование	Величина на карте	Величина на местности	Искажение величин	Относительное искажение $1/N$
Длина линии 1–2	614,040 м	613,99 м	– 0,05 м	1/12280
Площадь полигона 1–2–3–4	51,98 га	51,97 га	– 0,01 га	1/5197

Исходными данными являются длины сторон и площадь четырехугольного полигона 1–2–3–4, а также координаты вершин полигона, полученные аналитическим способом (таблица 6). Определяются относительные искажения длины одной из сторон и площади полигона, полученные результаты вносятся в таблицу 10.

1.10. Вычисление координат точки пересечения двух прямых

В некоторых случаях возникает необходимость решения определенных геодезических задач на плане (карте); к таким задачам можно отнести вычисление координаты точки пересечения двух прямых. Например: даны две прямые 1–3 и 2–4 (рисунок 24). Известны прямоугольные координаты точек 1; 2; 3; 4 (см. таблицу 6).

Требуется определить координаты точки A , которая является пересечением прямых 1–3 и 2–4.

Решая обратные геодезические задачи, находим тангенсы дирекционных углов по линиям 1–3 и 2–4:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-3} = (y_3 - y_1) / (x_3 - x_1) = (1021,18 - 222) / (986,44 - 1885,68) = -0,8887 = \lambda_1;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{2-4} = (y_4 - y_2) / (x_4 - x_2) = (257,16 - 830,75) / (1310,75 - 1966,14) = 0,8752 = \lambda_2.$$

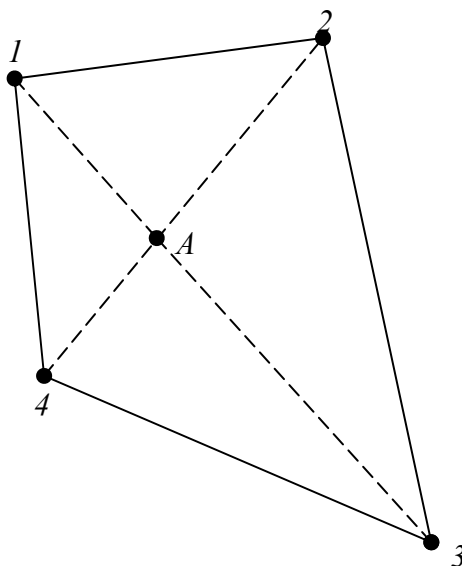


Рисунок 24 – Вычисление координат точки пересечения двух прямых

Вычисляем приращения координат между точкой 1 и точкой A по формуле

$$\begin{aligned} x_A - x_1 &= \frac{(x_1 - x_2)\lambda_1 - (y_1 - y_2)}{\lambda_1 - \lambda_2} = \\ &= \frac{[(1885,68 - 1966,14) \cdot (-0,8887)] - (222 - 830,75)}{-0,8887 - 0,8752} = -304,87 \text{ м;} \end{aligned}$$

$$y_A - y_1 = (x_A - x_1)\lambda_1 = (-304,87) \cdot (-0,8887) = 270,94 \text{ м.}$$

Определяем координаты точки A по формулам

$$x_A = x_1 + (x_A - x_1) = 1885,68 + (-304,87) = 1580,81 = 6057580,81 \text{ м};$$

$$y_A = y_1 + (y_A - y_1) = 222 + 270,94 = 492,94 = 6420492,94 \text{ м}.$$

Производим контроль вычислений по формулам

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha_{2-A} &= (y_A - y_2) / (x_A - x_2) = (492,94 - 830,75) / (1580,81 - 1966,14) = \\ &= 0,8767 \approx \lambda_2 = 0,8752; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha_{1-A} &= (y_A - y_1) / (x_A - x_1) = (492,94 - 222) / (1580,81 - 1885,68) = \\ &= -0,8887 = \lambda_1 = -0,8887. \end{aligned}$$

Примерное равенство тангенса линии $2-A$ и коэффициента λ_2 , а также полное равенство тангенса направления $1-A$ и λ_1 свидетельствует о правильности выполненных расчетов. Для контроля по топографической карте можно графически определить координаты точки A .

1.10.1. Задание 10

Вычисление координат точки пересечения двух прямых

Соединив точки 1 и 3, а также точки 2 и 4 в четырехугольном полигоне 1-2-3-4 получаем положение точки A . При расчетах используются координаты точек 1; 2; 3; 4, вычисленные аналитическим способом. Определяются координаты точки A и производится проверка правильности выполненных расчетов. В конце задания приводятся тангенсы направлений $\operatorname{tg} \alpha_{1-3} = \lambda_1$ и $\operatorname{tg} \alpha_{2-4} = \lambda_2$, а также тангенсы направлений $\operatorname{tg}\alpha_{1-A}$ и $\operatorname{tg}\alpha_{2-A}$.

1.11. Разграфка и номенклатура карт и планов

Разграфка, или нарезка карты – это система деления многолистной карты на листы. Чаще всего применяют два вида разграфки: трапецивидная, при которой границами листов служат параллели и меридианы, и прямоугольная, когда карта делится на прямоугольные или квадратные листы одинакового размера.

Серии государственных топографических и тематических карт, включающие тысячи листов, имеют в каждой стране стандартную разграфку. Например в России в основу разграфки топографических карт положена карта 1:1000000 масштаба. Любой ее лист представляет трапецию, которая ограничена параллелями и меридианами, проведенными через 4° по широте и 6° по долготы. Деление на градусы осуществляется от Гринвичского меридиана и от экватора.

Разграфку карт более крупных масштабов получают, деля лист миллионной карты на части. Каждая ячейка разграфки имеет свою номенклатуру – систему обозначения отдельных листов. Листы карты 1:1000000,

заклученные между смежными параллелями, образуют пояса, которые обозначаются заглавными буквами латинского алфавита *A, B, ..., V, Z*. В северном полушарии имеется 22 полных пояса и один неполный. Листы масштаба 1:1000000, заключенные между смежными меридианами, составляют колонны, которые нумеруют арабскими цифрами 1, 2, ..., 60, начиная с меридиана с долготой 180° в направлении с запада на восток.

Номенклатура листа карты 1:1000000 масштаба состоит из буквы, обозначающей пояс, и числа – номера колонны, например *N – 36* (рисунок 25).

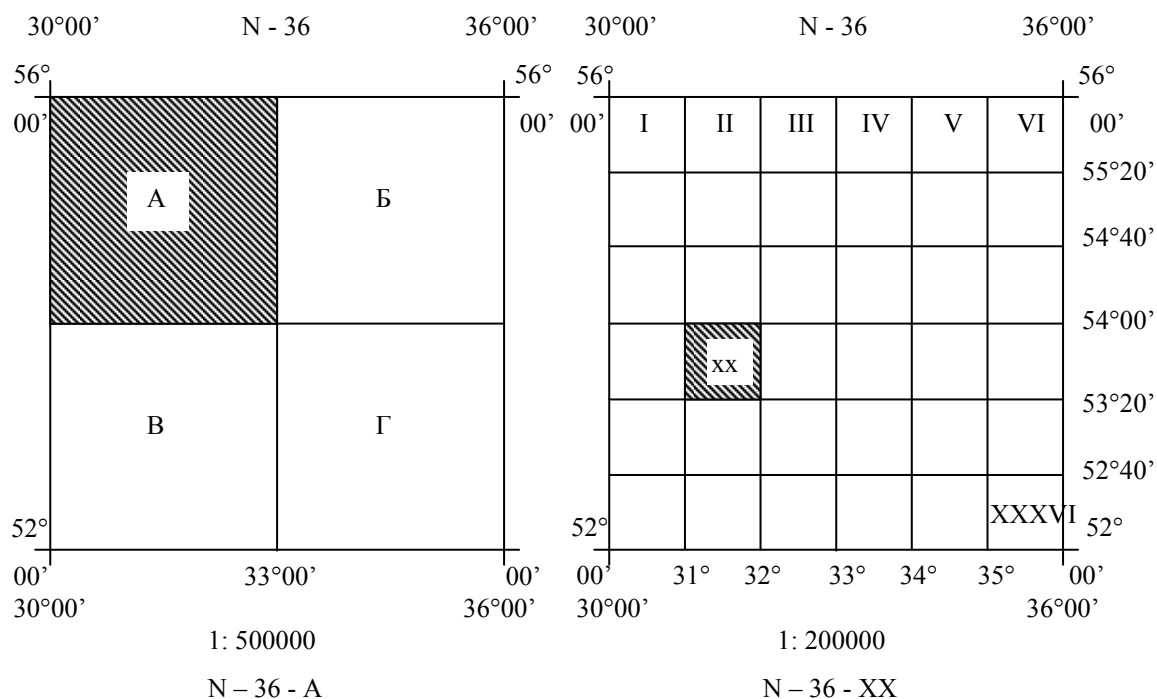


Рисунок 25 – Схема разграфки листа карты 1:1000000 масштаба *N – 36* на листы карт масштабов 1:500000 и 1:200000. Заштрихованы листы *N – 36 – A* и *N – 36 – XX*

При переходе к листам более крупных масштабов делят лист карты 1:1000000 масштаба меридианами и параллелями таким образом, чтобы листы карт более крупных масштабов были примерно одинаковых размеров.

Разделив каждую сторону рамки карты масштаба 1:1000000 на 12 частей, получают 144 листа карты 1:100000 масштаба. Каждый лист карты 1:100000 масштаба имеет размеры: 30' по долготе и 20' по широте. Их последовательно нумеруют цифрами от 1 до 144.

Таким образом, лист карты с номером 144 имеет номенклатуру *N – 36 – 144*.

В основу номенклатуры листов топографических карт более крупных масштабов положена номенклатура листов 1:100000 масштаба (рисунок 26).

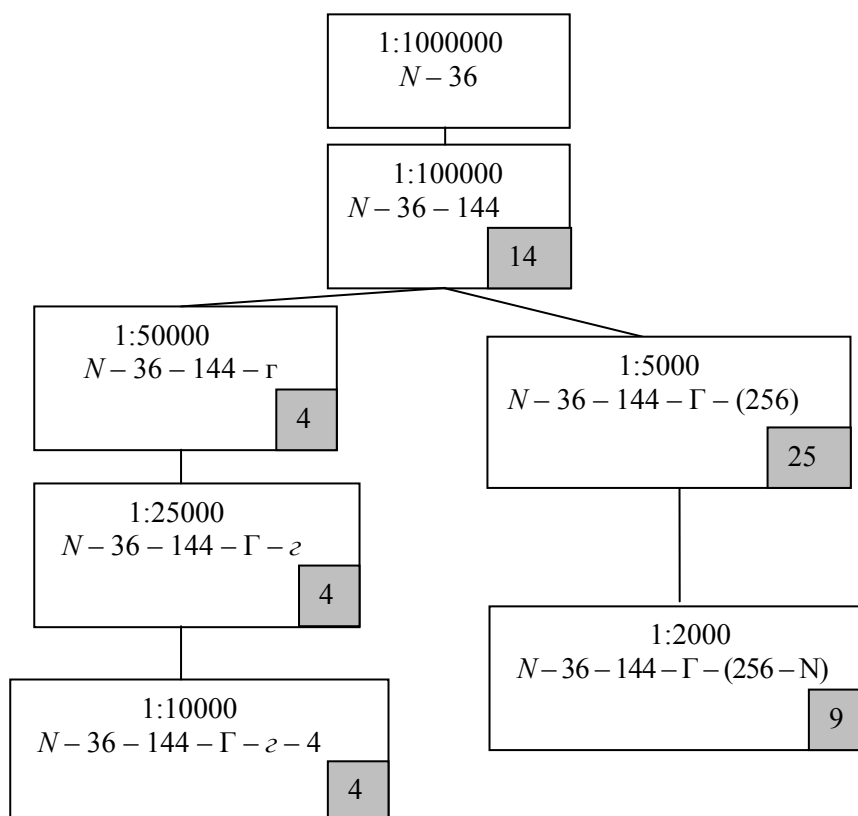


Рисунок 26 – Схема образования листов топографических карт

Размеры листов топографических карт, показанные на рисунке 26, приведены в таблице 11.

Таблица 11

Масштаб карты	Размер листа по:	
	Широте	Долготе
1:1000000	4°	6°
1:100000	20'	30'
1:50000	10'	15'
1:25000	5'	7'30"
1:10000	2'30"	3'45"
1:5000	1'15"	1'52,5"
1:2000	25'	37,5"

Разграфка и номенклатура топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, составленных в местных системах координат, отличающихся от данных изложенных ранее. Для планов таких масштабов принимают прямоугольную разграфку, которую получают следующим образом. Сетку прямоугольных координат проводят на планах всех масштабов через 10 сантиметров. В основу разграфки для образования номенклатуры планов принимают лист план 1:5000 масштаба с размерами рамки 40×40 см (2×2 км на местности). Номенклатурой плана 1:5000 масштаба является ее номер, обозначенный арабской цифрой. Размеры рамок планов более крупных масштабов составляют 50×50 см (рисунок 27).

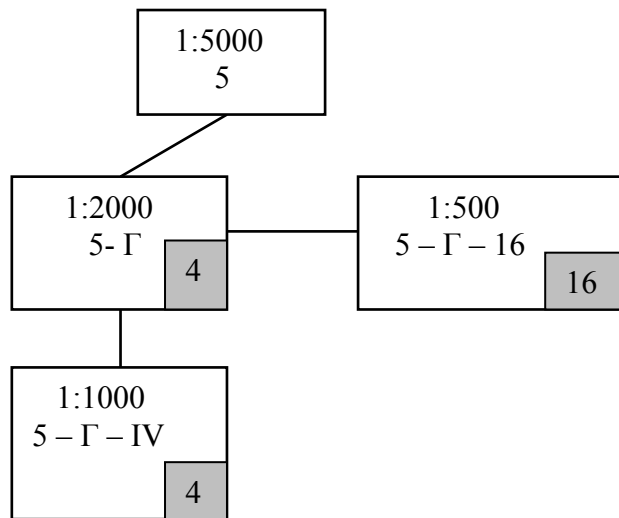


Рисунок 27 – Схема образования листов топографических планов

В нижнем правом углу каждого прямоугольника показано число листов топографических планов, соответствующее листу плана более мелкого масштаба, а внутри него приведена номенклатура последнего листа плана и его масштаб.

1.11.1. Пример определения номенклатуры листа карты 1:10000 масштаба

По координатам вершин четырехугольного полигона 1–2–3–4, полученным с учебной карты, необходимо определить истинную номенклатуру листа 1:10000 масштаба, на которой находится полигон. Координаты вершин четырехугольного полигона выписываем из таблицы 2. Достаточно взять только крайние значения: самой северной (точка 2) и самой южной точки (точка 3) по широте и самой восточной (точка 3) и самой западной точки (точка 1) по долготе.

$$B_2 = 54^{\circ}38'25'' \quad L_2 = 31^{\circ}46'36'';$$

$$B_1 = 54^{\circ}37'54'' \quad L_1 = 31^{\circ}45'49''.$$

Решение:

Определяем номенклатуру листа карты масштаба 1:1000000, на котором расположен полигон. Для этого широту B_2 делим на 4° .

Получаем $54^\circ38'25''$: $4^\circ = 13 + 2^\circ38'25''$ в остатке. Поэтому номер пояса равен 14, а буквой латинского алфавита будет N .

Номер колонны находим следующим образом: к долготе L_2 прибавляем 180° и полученную сумму делим на 6° . $(31^\circ46'36''+180^\circ) : 6 = 35$, в остатке $1^\circ46'36''$. Поэтому номером колонны будет 36. Таким образом, лист карты 1:1000000 имеет номенклатуру $(N - 36)$. Определяем номенклатуру листа карты 1:100000 масштаба, исходя из рисунка 28.

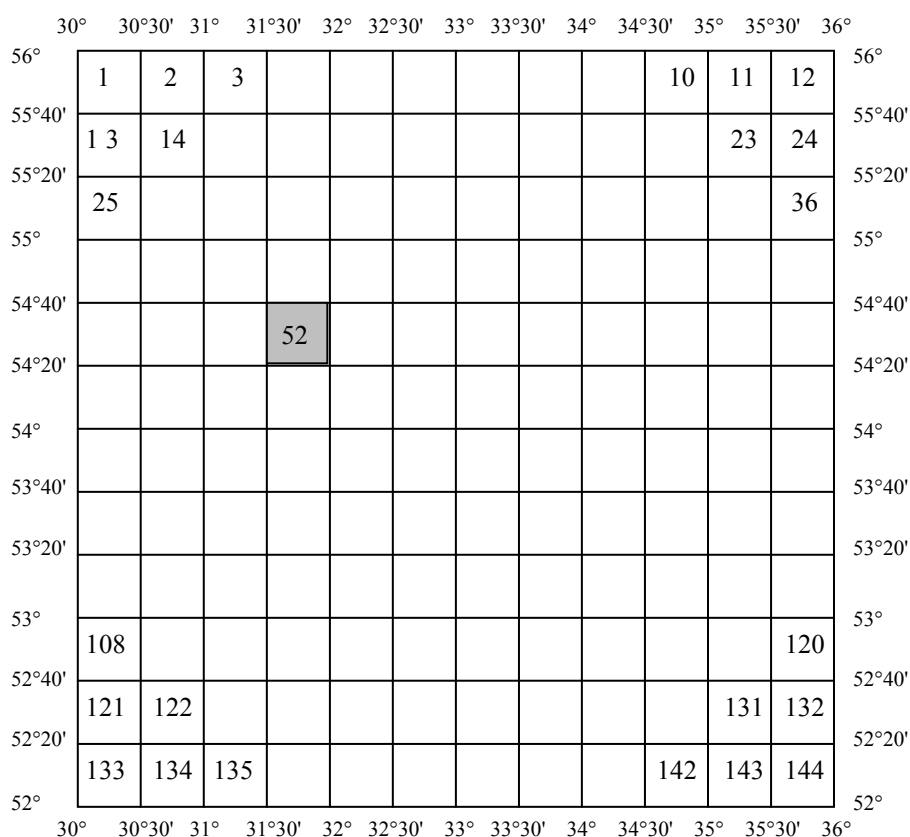


Рисунок 28 – Разграфка листа 1:1000000 масштаба на листы 1:100000 масштаба

Размер листа по широте равен $20'$, а по долготе – $30'$ (таблица 11). Координаты границ листов 1:1000000 масштаба по широте и долготу определяются следующим образом. Северная граница листа M равна южной границе листа N и определяется по формуле $13 \cdot 4^\circ = 52^\circ$ (13 – номер буквы M в латинском алфавите); соответственно северная граница листа N равна $14 \cdot 4^\circ = 56^\circ$.

Восточная граница листа N равна $(36 \cdot 6^\circ) - 180^\circ = 36^\circ$, отнимаем 6° , получаем западную границу, равную 30° .

По координатам крайних точек полигона определяем, что он соответствует 52 квадрату из 144, на которые разбивается лист 1:1000000 масштаба при делении его на листы 1:100000 масштаба (см. рисунок 26). Следовательно, номенклатура листа 1:100000 масштаба будет $N-36-52$.

Исходя из схемы разгафки листов (см. рисунок 26 и таблицу 11), определяем номенклатуру листов 1:50000 и 1:25000 масштабов.

Из рисунка 29 можно видеть, что координаты полигона соответствуют листу карты 1:50000 масштаба, имеющему номенклатуру $N-36-52-Б$, а также листу карты 1:25000 масштаба, имеющему номенклатуру $N-36-52-Б-a$.

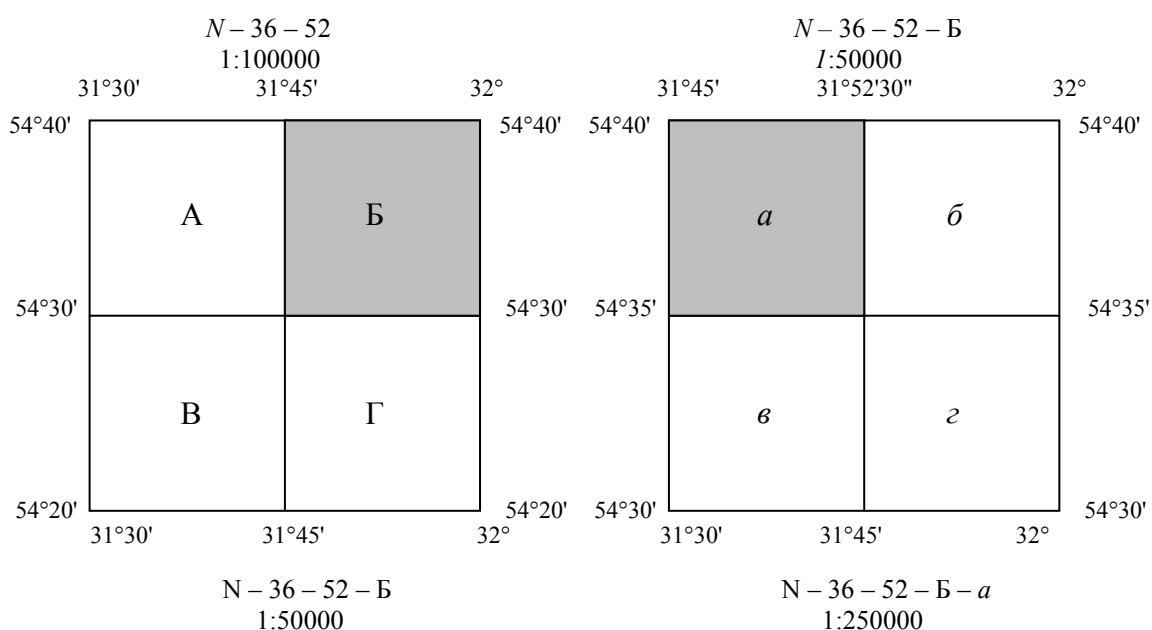


Рисунок 29 – Схема определения номенклатуры листов 1:50000 и 1:25000 масштабов, на которые попадает четырехугольный полигон 1–2–3–4

Определяем номенклатуру листа 1:10000 масштаба, в который попадает полигон 1–2–3–4. Для этого делим лист карты 1:25000 масштаба на 4 части и выносим на него координаты границ листов карт 1:10000 масштаба (таблица 11). Как видно из рисунка 30, координаты четырехугольного полигона соответствуют квадрату, имеющему номенклатуру $N-36-52-Б-a-1$, границами которого являются следующие координаты:

широта $B_2 = 54^{\circ}40'$ $B_1 = 54^{\circ}37'30''$;

долгота $L_1 = 31^{\circ}45'$ $L_2 = 31^{\circ}48'45''$.

Сравниваем эти значения с координатами границ полигона 1–2–3–4 и видим, что координаты границ полигона укладываются внутрь рамок листа $N-36-52-Б-a-1$.

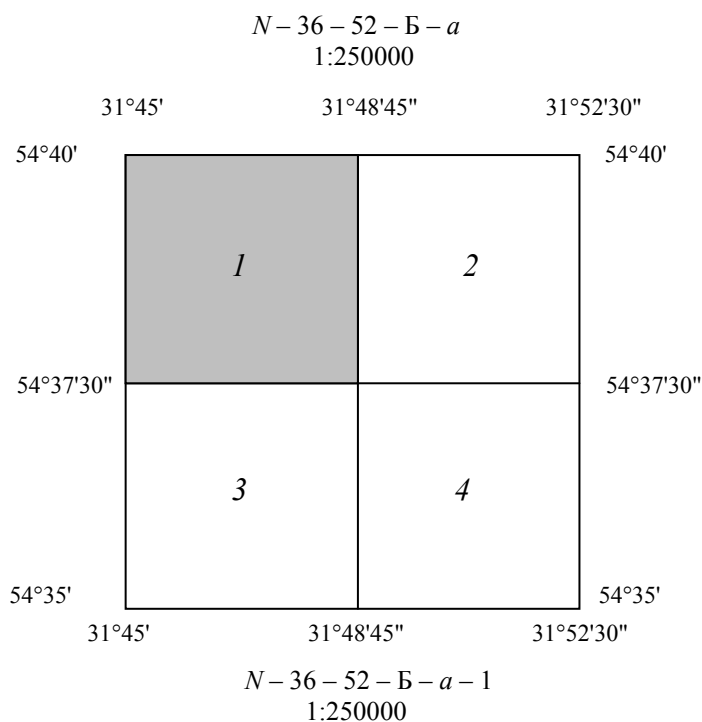


Рисунок 30 – Схема определения номенклатуры листа 1:10000 масштаба, на который попадает четырехугольный полигон 1–2–3–4

1.11.2. Задание 11

Определение номенклатуры листа карты 1:10000 масштаба

По координатам крайних точек четырехугольного полигона определяется номенклатура листа топографической карты 1:10000 масштаба, на которой он находится. Для расчетов берутся геодезические координаты точек 1; 2; 3; 4 (таблица 2). Результаты представляются в виде схемы образования листов от 1:1000000 масштаба до 1:10000 масштаба. На схеме указывается номенклатура листов и координаты их границ.

1.12. Условные знаки на планах и картах

Топографические знаки являются важнейшим элементом топографических карт, с помощью которых отображаются дороги, реки, контуры населенных пунктов, линии электропередач и другие объекты. Совокупность этих объектов называется ситуацией.

Условные знаки обязательны для всех учреждений и организаций, составляющих топографические карты и планы. Они устанавливаются Федеральным агентством геодезии и картографии и издаются либо отдельно для каждого масштаба, либо для группы масштабов.

Условные знаки делятся на пять групп: площадные, линейные, внемасштабные, пояснительные, специальные.

Площадные условные знаки применяются для заполнения площадей объектов (например: леса, поля, луга и т.д.). Они состоят из знака, заполняющего объект, и знака границы (точечный пунктир или тонкая сплошная линия). Иногда помимо знака, заполняющего объект, используется окраска.

Линейные условные знаки показывают объекты линейного типа (дороги, реки и др.). Помимо самих знаков, приводятся сопутствующие цифровые знаки, характеризующие параметры объекта (например: ширина дороги, направление течения реки и т.д.).

Внемасштабные условные линейные знаки служат для отображения объектов, размеры которых не выражаются в данном масштабе (мосты, колодцы, геодезические пункты и т.д.). На знаках могут приводиться дополнительные характеристики (например: ширина моста, его грузоподъемность и т.д.).

Пояснительные условные знаки представляют собой цифровые и буквенные надписи, характеризующие объекты. Эти знаки проставляются на площадных, линейных и внемасштабных знаках, дополняя их.

Специальные условные знаки применяются для специализированных карт и планов отдельных отраслей и ведомств народного хозяйства. Например: нефтяные скважины, промысловые трубопроводы и т.д. Для придания карте большей наглядности используется цветовая раскраска. Всю остальную ситуацию дают черным цветом.

1.12.1. Задание 12

Топографические условные знаки

Это задание студенты выполняют самостоятельно, используя следующую литературу [1, 6]. С фрагмента топографической карты выносятся условные знаки, которые делятся на группы. Знаки вычерчиваются в соответствующем масштабе. К каждому знаку даются краткие пояснения.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

В первом семестре студенты выполняют курсовую работу, в которую входят 12 заданий, перечисленных выше. Целью курсовой работы является получение навыков использования топографической карты для решения геодезических задач. Умение читать топографическую карту и получать с ее помощью необходимые сведения о характере местности является необходимым требованием для инженера-землеустроителя.

2.1. Порядок выполнения работы

Студенты согласно выданному преподавателем варианту выполняют следующие виды работ:

1. Длины линий всех сторон четырехугольника измеряются с помощью линейного и поперечного масштабов. Данные измерений вносятся в таблицу 1.

2. По фрагменту геодезической карты определяются геодезические координаты всех вершин четырехугольного полигона 1–2–3–4. Определение координат делается с точностью до секунд. Результаты вносятся в таблицу 2.

3. Определяются прямоугольные координаты X, Y всех вершин четырехугольника. Определение координат производится с помощью циркуля-измерителя и поперечного масштаба. Результаты вносятся в таблицу 3.

4. С помощью геодезического транспортира определяются дирекционные углы всех направлений (сторон) четырехугольного полигона. Вычисляются: истинный и магнитный азимуты, а также румбы всех направлений (сторон полигона). Измерение углов желательно проконтролировать через вычисление внутренних углов полигона, так как их сумма равна 360° . Полученные результаты вносятся в таблицу 5.

5. Решая прямые геодезические задачи, определяются прямоугольные координаты вершин четырехугольного полигона аналитическим способом. Полученные данные вносятся в таблицу 6. Разница определений координат графическим и аналитическим способами не должна превышать 3 метров.

6. Решая обратные геодезические задачи, определяются длины линий (стороны четырехугольного полигона) и дирекционные углы направлений (сторон полигона) аналитическим способом. Результаты вычислений вносятся в таблицу 7. Разница определения дирекционных углов и длин сторон, определенных графическим и аналитическим способами, не должна превышать $10'$ и 3 метров соответственно.

7. Площадь заданного полигона измеряется аналитическим способом, деля полигон на простые геометрические фигуры, а также по прямоугольным координатам вершин четырехугольника и с помощью пла-

ниметра *PLANIX* 7. Данные измерений вносятся в таблицу 8. Разница между всеми измерениями не должна превышать 0,5 гектара.

8. В задании 8 студенты определяют отметки крайних точек по одному из направлений четырехугольного полигона. Причем направление выбирается таким образом, чтобы оно пересекалось с максимальным количеством горизонталей. После определения абсолютных отметок крайних точек по этому направлению строится продольный профиль в масштабах: горизонтальный 1:10000, вертикальный 1:1000.

9. В 9-м задании студенты определяют поправки за искажение длин линий и площадей при переносе их с карты на местность. Определяются относительные искажения длины одной из сторон и площади полигона. Полученные результаты вносятся в таблицу 9. Относительные искажения длины линии и площади полигона не должны превышать 1/2000.

10. Определяются координаты точки *A* (точка пересечения двух прямых). Осуществляется проверка правильности произведенных расчетов.

11. По координатам крайних точек четырехугольного полигона определяется номенклатура листа топографической карты 1:10000 масштаба, на которой он находится. Результаты представляются в виде схемы образования листов от 1:1000000 масштаба до 1:10000 масштаба. На схеме указывается номенклатура листов и координаты их границ.

12. С фрагмента топографической карты выносятся условные знаки, которые делятся по соответствующим им группам. Знаки вычерчиваются в соответствующем масштабе. К каждому знаку даются краткие пояснения.

2.2. Требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа выполняется на стандартных листах А4. В каждом разделе, помимо приведенных расчетов и таблиц, приводится краткое описание выполненной работы, которое сопровождается необходимыми рисунками и схемами. В работе должна быть соблюдена четкая последовательность выполняемых заданий, соблюдены все требования по точности расчетов, приведенные в разделе 2.1. Работа должна быть выполнена аккуратно и в установленные преподавателем сроки.

Приветствуется компьютерное оформление работы. Защита работы производится не позднее отведенных для этого сроков.

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

В первом семестре на лабораторных занятиях, помимо заданий, входящих в курсовую работу, студенты изучают геодезические приборы: теодолит 4Т30 и нивелир Н-3. В программу обучения входит изучение устройства приборов, получение навыков измерения ими и изучение поверок и юстировок данных приборов. Все записи на этих занятиях выполняются в отдельных тетрадях и сопровождаются необходимыми пояснениями и рисунками.

3.1. Теодолит 4Т30.

Устройство, измерение углов, поверки и юстировки

3.1.1. Устройство теодолита 4Т30

Технический оптический теодолит 4Т30 предназначен для проведения инженерно-геодезических работ, для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при создании плановых и высотных съемочных сетей, для измерения расстояния с помощью нитяного дальномера, определения магнитных азимутов по ориентир-буссоли [2, 3, 8]. Масса теодолита (без футляра) равна 2,3 килограмма.

Основные части теодолита и их эксплуатация (рисунок 31)

1. Основание теодолита устанавливается на штатив и с помощью станкового винта штатива, который вкручивается во втулку основания, крепится к штативу.
2. С помощью подъемных винтов на середину выводится пузырек цилиндрического уровня при алидаде.
3. Подставка с цилиндрическим выступом, на котором крепится верхняя вращающаяся часть теодолита.
4. Закрепительный винт лимба. При открепленном винте лимба алидада вращается вместе с лимбом. А при закрепленном винте лимба и открепленном винте алидады алидада вращается относительно лимба, что позволяет брать отсчеты по горизонтальному кругу.
5. Зрительная труба имеет 20-кратное увеличение. Она вращается вокруг горизонтальной оси на 360° . Сетка нитей зрительной трубы позволяет измерять расстояния с помощью дальномера.
6. Визир служит для приблизительного наведения трубы на измеряемую точку.
7. Микроскоп и окуляр микроскопа. В поле зрения микроскопа попадают отсчеты по лимбам вертикального и горизонтального круга. Верхняя

шкала, обозначенная буквой В, отвечает вертикальному кругу (рисунок 32), а нижняя Г – горизонтальному. Шкала микроскопа соответствует 1° лимба, разделенному на 12 частей. Цена одного деления равна $5'$. Отсчеты берутся с точностью до $1'$, с округлением до $0,1$ деления, т.е. до $0,5'$.

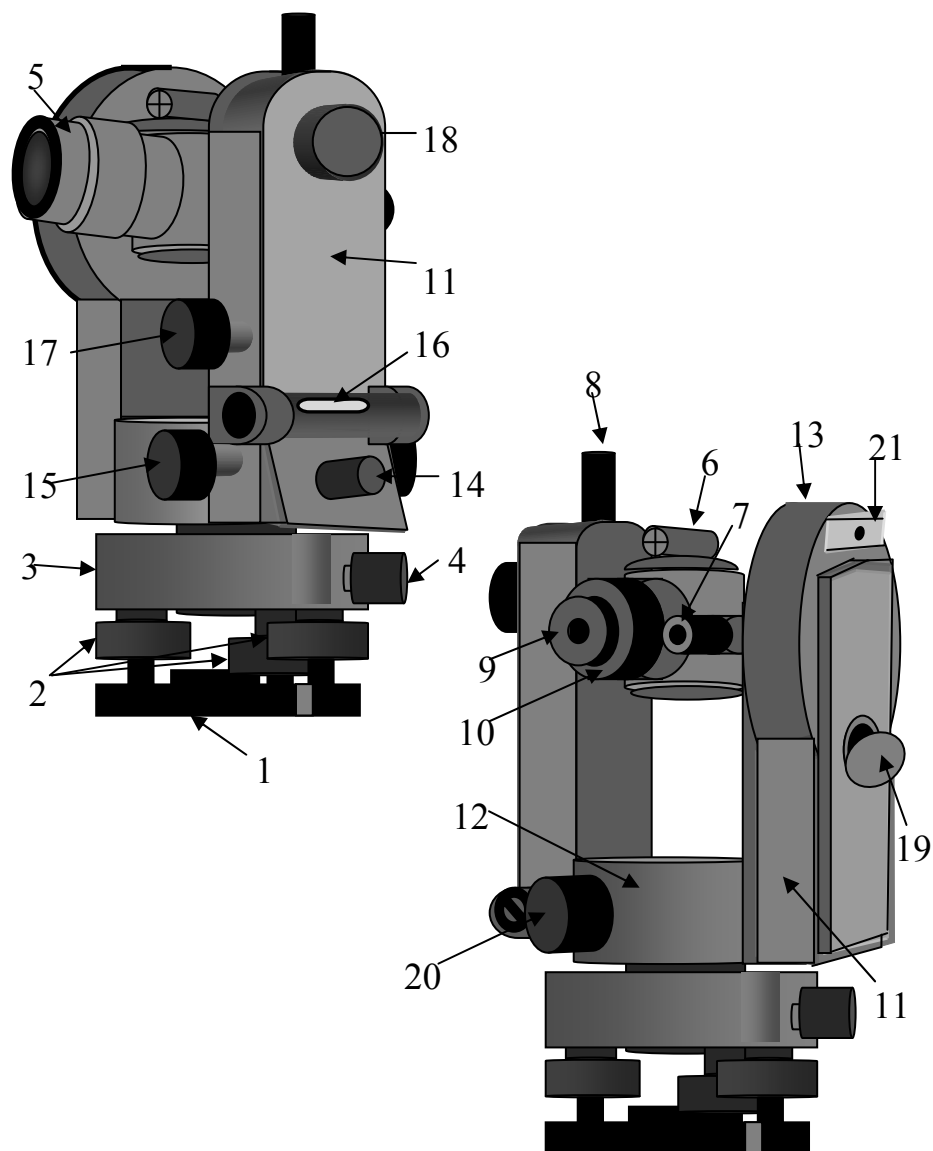


Рисунок 31 – Устройство теодолита 4Т30:

1 – основание с втулкой; 2 – подъемные винты; 3 – подставка; 4 – закрепительный винт лимба; 5 – зрительная труба; 6 – визир; 7 – окуляр микроскопа; 8 – закрепительный винт зрительной трубы; 9 – окуляр зрительной трубы; 10 – колпачок; 11 – колонка со встроенными в нее корпусами горизонтального и вертикального кругов; 12 – корпус горизонтального круга; 13 – корпус вертикального круга; 14 – закрепительный винт алидады; 15 – наводящий винт алидады; 16 – цилиндрический уровень при алидаде; 17 – наводящий винт зрительной тубы; 18 – винт резкости (кремальера); 19 – зеркало подсветки; 20 – рукоятка перевода лимба; 21 – скоба для крепления буссоли

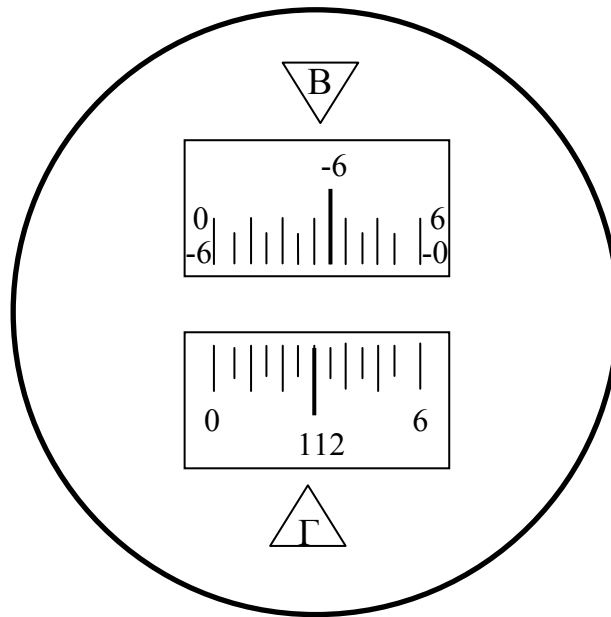


Рисунок 32 – Поле зрения шкалового микроскопа 4Т30.
Отсчеты по горизонтальному кругу $112^{\circ}30'$, по вертикальному кругу $-6^{\circ}25'$

Индексом для отсчета служит штрих лимба. Отсчет по горизонтальному кругу производится от 0 к 6 (слева направо).

Шкала вертикального круга имеет два ряда цифр. Отсчет по нижнему ряду цифр (от -0 к -6) берется тогда, когда в поле зрения шкалы появляется штрих лимба с отрицательным значением отсчета (см. рисунок 32). В случае положительного значения цифры отсчета он производится от 0 к 6.

8. Закрепительный винт зрительной трубы служит для фиксации зрительной трубы в неподвижном положении после наведения ее на измеряемый предмет.

9. С помощью окуляра зрительной трубы устанавливается четкость изображения сетки нитей.

10. Колпачок прикрывает юстировочные винты, расположенные на зрительной трубе, а также закрепительные винты сетки нитей.

11. Колонка со встроенными в нее корпусами горизонтального и вертикального кругов.

12. Корпус горизонтального круга. Внутри корпуса горизонтального круга находятся лимб и алидада горизонтального круга, с помощью которых измеряются горизонтальные углы. Лимб представляет собой стеклянный круг, оцифрованный через 1° от 0° до 360° по часовой стрелке. Алидада представляет собой круг меньшего диаметра, находящийся внутри лимба, с нулевой чертой, позволяющей брать отсчеты с лимба. В целом и лимб и алидада представляют собой довольно сложные устройства, соединенные с закрепительными винтами. Изображение штрихов и оцифровки лимба передается на шкаловый микроскоп (см. рисунок 32).

Лимб и алидада устроены таким образом, что при закрепленном винте алидады и открепленном винте лимба алидада вращается вместе с лимбом. А при закрепленном винте лимба и открепленном винте алидады алидада вращается относительно лимба, что позволяет брать отсчеты по горизонтальному кругу.

13. Корпус вертикального круга. В корпусе вертикального круга также расположены лимб и алидада вертикального круга, но в отличие от горизонтального круга лимб оцифрован по секторам через 1° от 0° до 75° и от -0° до -75° . Лимб жестко скреплен со зрительной трубой и вращается вместе с ней вокруг неподвижной алидады. Нулевой отсчет лимба параллелен визирной оси трубы. Отсчеты по лимбу выведены на шкаловый микроскоп (см. рисунок 32).

14. Закрепительный винт алидады. При закрученном винте алидады и открученном винте лимба, алидада вращается вместе с лимбом. Если закрепительный винт алидады откручен, а винт лимба закручен, алидада вращается относительно лимба, и на шкале микроскопа появляется отсчет по горизонтальному кругу.

15. Наводящий винт алидады служит для точного наведения сетки нитей на определяемую точку по горизонтали.

16. Цилиндрический уровень при алидаде. С помощью цилиндрического уровня, вращая подъемные винты, в отвесное положение устанавливаем вертикальную ось теодолита. Цена деления уровня равна $45''$.

17. Наводящий винт зрительной трубы служит для точного наведения сетки нитей на определяемый предмет по вертикали.

18. При помощи кремальеры добиваемся четкого изображения предмета, на который наведена сетка нитей.

19. Вращением и наклоном зеркала подсветки добиваемся наилучшего освещения штрихов лимба в микроскопе.

20. Рукоятка перевода лимба позволяет, не откручивая закрепительный винт лимба, изменить отсчет по нему. Наиболее часто при помощи рукоятки производится обнуление отсчетов. Для этого рукоятку прижимаем к горизонтальному кругу и постепенным вращением, добиваемся нужного отсчета.

21. Скоба для крепления ориентир-буссоли представляет собой пластинку с пазом, в который вкручивается винт буссоли.

3.1.2. Установка теодолита в рабочее положение

Для установки теодолита в рабочее положение необходимо выполнить следующие действия:

1. Устанавливаем теодолит на штатив и с помощью станкового винта соединяем его со штативом. С помощью отвеса или оптического центра

(в зависимости от модели теодолита) устанавливаем теодолит над точкой станции.

2. Приводим вертикальную ось теодолита в отвесное положение. Для этого освобождаем закрепительный винт алидады при закрепленном винте лимба и устанавливаем цилиндрический уровень при алидаде параллельно двум подъемным винтам. Этими винтами выводим пузырек цилиндрического уровня на середину.

3. Поворачиваем теодолит на 90° и оставшимся подъемным винтом выводим пузырек уровня на середину.

4. Поворачиваем теодолит на 180° и, если пузырек цилиндрического уровня не отклоняется более чем на половину деления, считаем условие, при котором вертикальная ось теодолита выведена в вертикальное положение, выполненным.

5. Если пузырек уровня отклонился более чем на одно деление, то делаем юстировку цилиндрического уровня.

6. Наводим теодолит на определяемую точку с помощью визира или ориентируясь по направлению трубы при закрепленном винте лимба.

7. Закручиваем закрепительные винты алидады и зрительной трубы.

8. С помощью кремальеры добиваемся четкости изображения предмета.

9. Вращая окуляр зрительной трубы, добиваемся четкости изображения сетки нитей.

10. Наводящими винтами алидады и зрительной трубы точно наводим сетку нитей на определяемый предмет

После выполнения этих действий теодолит готов к работе.

3.1.3. Измерение углов. Измерение горизонтального угла

Измерение горизонтального угла теодолитом может быть выполнено различными способами: способом приемов, способом повторений и способом круговых приемов. При инженерно-геодезических работах наиболее распространенным является способ приемов. При этом способе теодолит приводится в рабочее положение, наводится на точку аналогично тому, как это было описано выше, и берется отсчет по микроскопу. В том случае, когда вертикальный круг находится слева от зрительной трубы, отсчет называется круг «лево» или КЛ. Когда вертикальный круг находится справа от зрительной трубы, отсчет называется круг «право» или КП. На рисунке 33 теодолит изображен в положении зрительной трубы, соответствующей кругу «право».

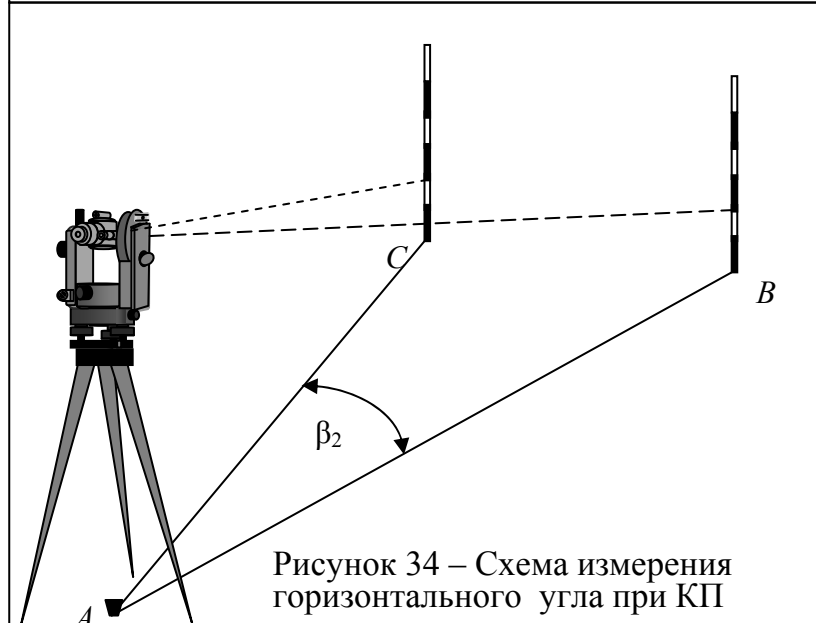
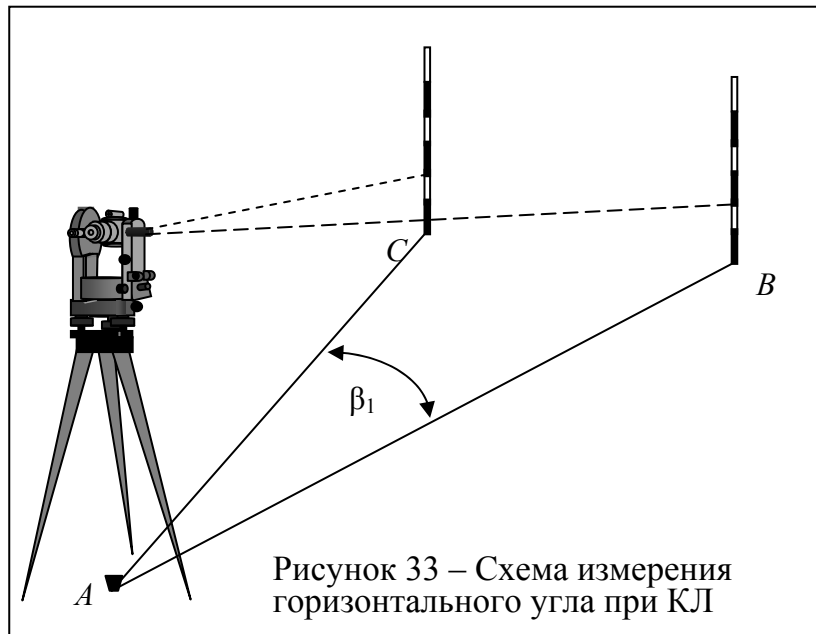
Измерение горизонтального угла производится в следующей последовательности:

1. Теодолит устанавливается на вершине измеряемого угла (точка *B*), приводится в рабочее положение, наводится на правую точку (*A*) и берется отсчет при круге «лево». В результате получаем отсчет КЛ1 (см. рисунок 33).

2. Теодолит переводится на левую точку (C) и берется отсчет КЛ2. Так как измеряемый угол β равен разности двух направлений, а подписи делений лимба возрастают по ходу часовой стрелки, то из правого направления вычитают левое, то есть $\beta_1 = \text{КЛ1} - \text{КЛ2}$. Если полученный отсчет на правую точку меньше отсчета на левую точку, то к его значению прибавляем 360° . Измерение угла при одном положении вертикального круга называется полуприемом.

3. Для контроля и ослабления погрешности измеряем угол β_2 при круге «право» (рисунок 34). Для этого трубу теодолита переводим через зенит, наводим на правую точку (A) и получаем отсчет КП1.

4. Теодолит переводится на левую точку (C) и берется отсчет КП2. Угол $\beta_2 = \text{КП1} - \text{КП2}$. Допустимая разница двух полуприемов не должна превышать 1 минуты. То есть $\beta_1 - \beta_2 \leq 1'$.



5. Значение горизонтального угла вычисляется как среднее из двух полуприемов: $\beta_{\text{ср.}} = (\beta_1 + \beta_2) / 2$.

Измерение горизонтального угла при двух положениях вертикального круга называется полным приемом.

Измерение вертикального угла

Вертикальным углом является угол наклона γ , образованный визирной осью зрительной трубы, наведенной на определяемую точку, и горизонтальной плоскостью (рисунок 35). Измерение углов наклона выполняется для определения горизонтальных проекций линий при определении превышений методом тригонометрического нивелирования, при определении высоты сооружения или отдельных его точек, а также при решении геодезических задач на строительной площадке. Как и при измерении горизонтального угла, измерение вертикального угла производится при двух положениях вертикального круга – круге «лево» и круге «право». Определение значения вертикального угла производится в следующей последовательности.

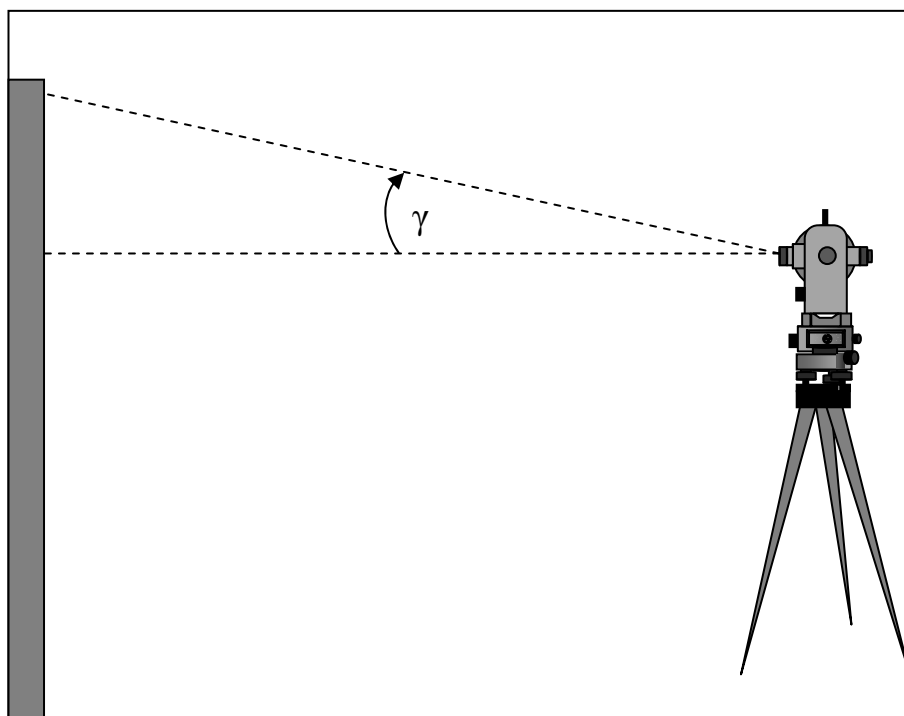


Рисунок 35 – Схема измерения вертикального угла

1. Теодолит наводится на удаленную точку при круге «лево» и берется отсчет КЛ по шкале вертикального круга.

2. Зрительная труба теодолита поворачивается на 180° и наводится на определяемую точку при круге «право». Получаем отсчет КП. Определяем место нуля вертикального круга. Если визирную ось поставить в горизонтальное положение и пузырек цилиндрического уровня при алидаде

вывести на середину, то отсчет по лимбу вертикального круга должен быть равен нулю, что будет соответствовать нулевому значению угла наклона. В случае, когда ось уровня не окажется параллельна нулевой линии алидады, последняя составит с визирной осью некоторый угол x , т.е. отсчет по лимбу будет отличаться от нуля (рисунок 36). Этот отсчет является местом нуля вертикального круга МО.

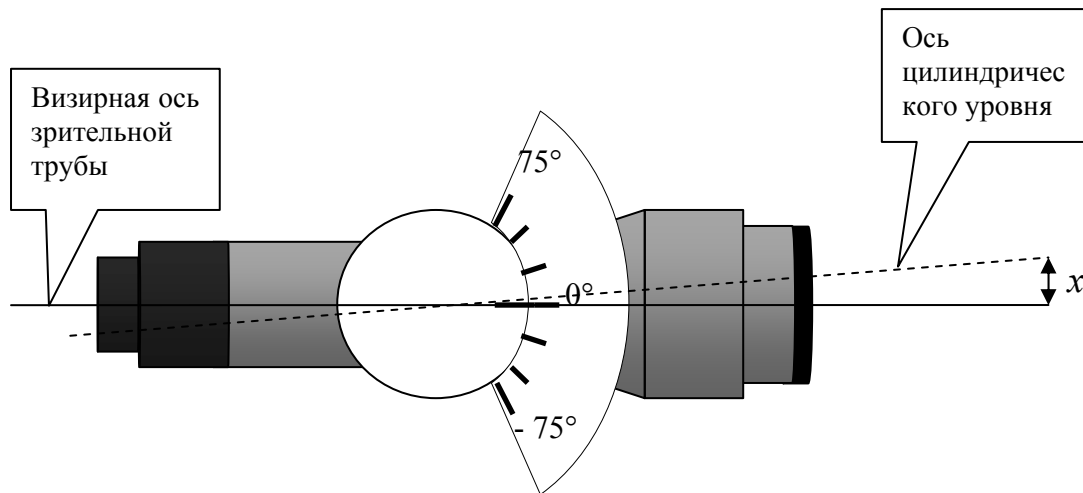


Рисунок 36 – Соотношение визирной оси теодолита и оси цилиндрического уровня

Таким образом, местом нуля вертикального круга называется отсчет по лимбу вертикального круга, соответствующий горизонтальному положению визирной оси трубы и положению пузырька уровня при алидаде на середине. Место нуля вертикального круга вычисляем по формуле

$$МО = (КЛ + КП)/2.$$

В идеальном варианте место нуля равно нулю. Колебания места нуля не должно превышать двойной точности теодолита. Для теодолита 4Т30 это 1'. Если МО значительно отличается от 0, то возникают трудности при определении угла наклона. Для этого место нуля приводят к значению, близкому 0.

Угол γ для теодолита 4Т30 вычисляется по формуле

$$\gamma = (КЛ - КП) / 2.$$

Для контроля значения угол γ вычисляем по формулам

$$\gamma = КЛ - МО; \quad \gamma = МО - КП.$$

Сходимость значений вертикального угла γ , полученных по трем формулам, свидетельствует о правильности выполненных вычислений.

Определение расстояний по дальномеру

В теодолите 4Т30 используется нитяной дальномер. Для этого на сетке нитей нанесено два параллельных штриха, называемых дальномерными нитями, расположенных симметрично относительно центрального штриха сетки нитей (рисунок 37).

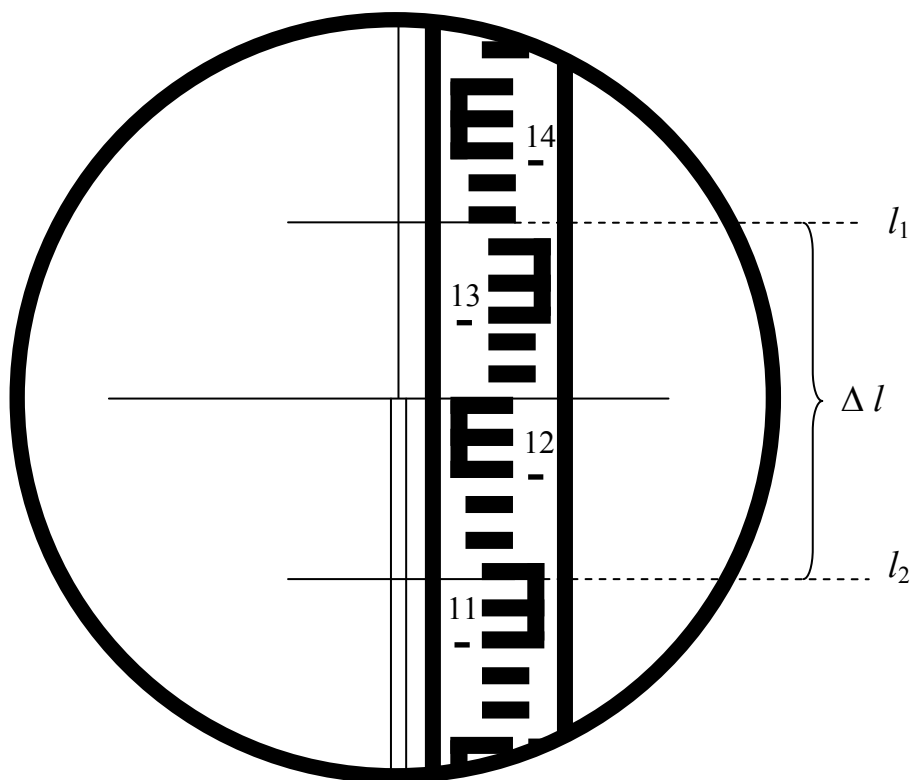


Рисунок 37 – Схема определение расстояний по нитяному дальномеру

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.

Расстояние D находится по формуле: $D = (K \cdot \Delta l) + c$, где K – коэффициент дальномера. Для теодолита 4Т30 коэффициент дальномера равен 100, c – постоянное слагаемое дальномера, величина которого крайне мала по сравнению с точностью отсчета, поэтому ей обычно пренебрегают при расчетах. Поэтому $D = K \cdot \Delta l$.

Например: отсчет по нижней нити l_2 равен 1140, отсчет по верхней нити l_1 равен 1360, тогда

$$\Delta l = l_1 - l_2 = 1360 - 1140 = 220 \text{ мм} = 22 \text{ см};$$

$$D = K \cdot \Delta l = 100 \cdot 22 \text{ см} = 22 \text{ метра.}$$

При определении расстояний по приведенной формуле предполагается, что дальномерная рейка находится перпендикулярно к линии визирования.

Однако на практике при замере расстояний мы чаще сталкиваемся с наклонными поверхностями, где дальномерная рейка не перпендикулярна линии визирования. Поэтому для вынесения определяемого расстояния на горизонтальную плоскость необходимо определить горизонтальное проложение d . В этом случае горизонтальное проложение d вычисляется по формуле $d = K \cdot \Delta l \cdot \cos \gamma$. Относительная погрешность измерения расстояния нитяным дальномером составляет 1: 300, 1: 400 от измеряемого расстояния.

3.1.4. Поверки и юстировки теодолита 4Т30

Целью поверок и юстировок теодолита является выявление отступлений от основных геометрических условий теодолита, вызванных нарушением правильного взаимного расположения его частей и осей. Поверки и, если необходимо, юстировки следует проводить систематически.

Поверка №1

Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси

Эта поверка выполняется аналогично тому, как производится установка теодолита в рабочее положение (пункты 2–5). Если после поворота на 180° пузырек отклонился более чем на половину деления уровня, делаем юстировку уровня. Для этого с помощью подъемных винтов перемещаем пузырек на половину дуги отклонения, после чего юстировочными винтами уровня приводим его на середину (рисунок 38). Затем поверку повторяют до тех пор, пока пузырек при повороте на 180° не останется на середине.

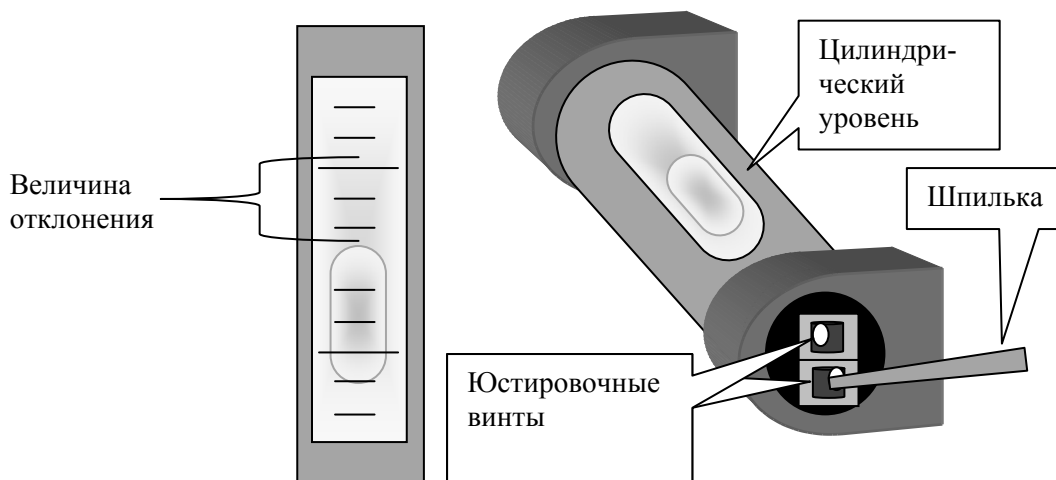


Рисунок 38 – Схема юстировки цилиндрического уровня при алидаде

Поверка №2

Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы

Для выполнения этой поверки выбирают на местности точку, при наведении на которую зрительную трубу устанавливают приблизительно горизонтально. Приведя теодолит в рабочее положение, делают отсчеты при КЛ1 и КП2. Затем, открепив закрепительный винт лимба, поворачиваем прибор на 180° . Закрепляем винт лимба, открепляем винт алидады. Наведя теодолит на ту же точку, берем отсчеты КЛ2 и КП2. Вычисляем значение коллимационной погрешности по формуле

$$C_1 = 0,25 [(КЛ1 - КП1 \pm 180^\circ) + (КЛ2 - КП2 \pm 180^\circ)].$$

Для контроля повторяют определения, визируя трубу на вторую точку, и вычисляют среднее арифметическое значение $C_0 = (C_1 + C_2) / 2$. Колебания C не должны превышать $1'$. Если среднеарифметическое значение погрешности превышает $2'$, то производят исправления.

Предположим $C_0 = 6'$. Для исправления этой погрешности берем последний отсчет. Например, $КЛ2 = 212^\circ 25'$.

Теодолит наводим на вершину вешки, где брался отсчет КЛ2. Вычисляем исправленный отсчет:

$$КЛ_{испр.} = КЛ2 - C_0 = 212^\circ 25' - 0^\circ 06' = 212^\circ 19'.$$

Наводящим винтом алидады устанавливаем на лимбе исправленный отсчет. Перекрестие нитей сойдет с верхней части вешки. Откручиваем колпачок зрительной трубы и боковыми юстировочными винтами совмещаем перекрестие нитей с верхушкой вешки (рисунок 39). После исправления поверка повторяется.

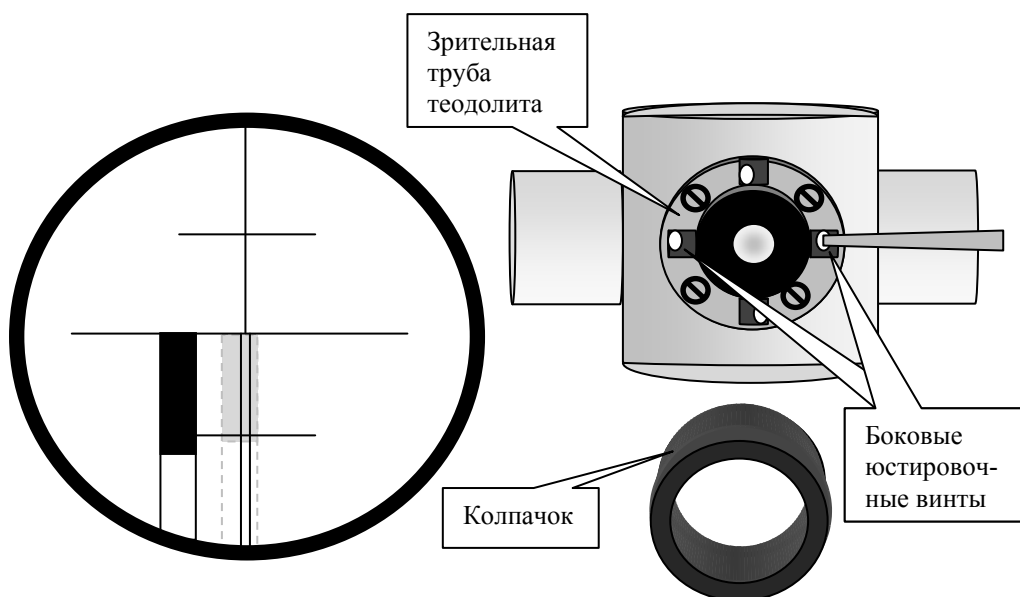


Рисунок 39 – Схема исправления коллимационной погрешности

Поверка № 3

Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна к вертикальной оси

Для выполнения этой поверки теодолит устанавливается в 5–30 метрах от стены здания. На стене выбирается высоко расположенная точка *A*, на которую, приведя теодолит в рабочее положение при КЛ, наводится перекрестие сетки нитей. Застопорив закрепляющие винты горизонтального круга, опускаем трубу теодолита вниз до горизонтального положения и отмечаем на стене точку *B*. Переводим трубу через зенит, наводим ее на точку *A'* и при КП опускаем ее в точку *B'*. Если точки *B* и *B'* совпадают, то условие поверки считается выполненным. Если точки *B* и *B'* не совпали, то условие считается нарушенным. Исправление необходимо выполнять в специальной мастерской или на заводе.

Поверка № 4

Основной вертикальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к горизонтальной оси

Для выполнения этой поверки теодолит наводится на хорошо видимую удаленную точку на местности.

Вращая наводящий винт зрительной трубы, наблюдаем, сходит ли выбранная цель с основного вертикального штриха сетки нитей.

Если изображение точки не сходит со штриха, то условие считается выполненным. В противном случае, ослабив винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, поворачивают его так, чтобы условие оказалось выполненным, и поверку повторяют (рисунок 40).

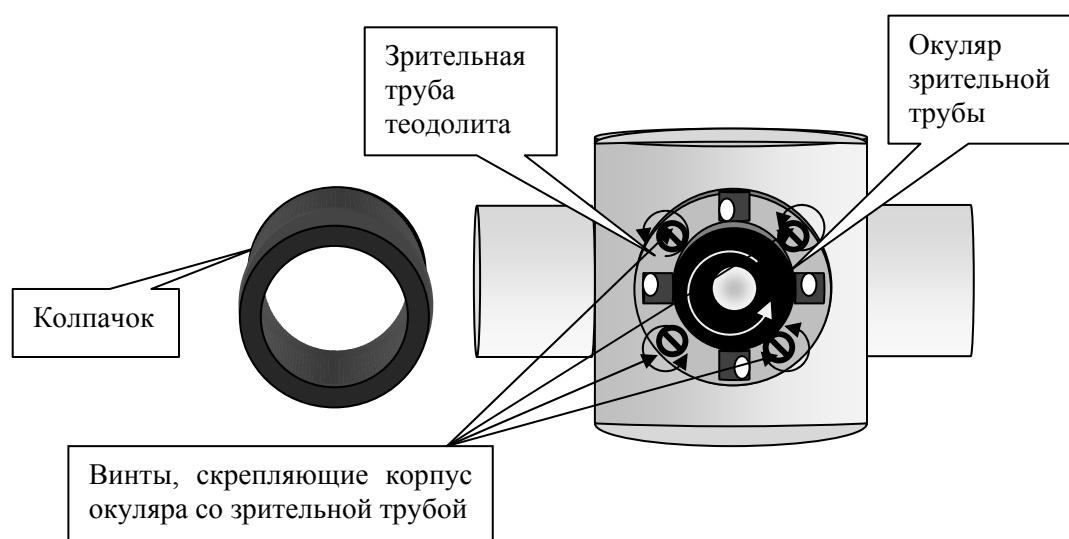


Рисунок 40 – Схема исправления вертикальности сетки нитей

Поверка № 5

Место нуля вертикального круга должно быть известно или приведено к нулю

Для выполнения этой поверки теодолит наводится попеременно на 2–3 точки при двух положениях вертикального круга КЛ и КП. Предварительно теодолит приводится в рабочее положение. В каждой точке вычисляется место нуля. Колебания значений места нуля при наблюдениях на разные точки не должно превышать 1'. Если среднеарифметическое место нуля по этим точкам более 2', то его исправляют следующим образом.

Например: среднее значение МО после наведения на три точки равно 5'. Приводят теодолит в рабочее положение. Наводят трубу на удаленную цель и делают отсчеты КЛ и КП по вертикальному кругу. Вычисляем исправленное значение при КЛ:

$$КЛ_{испр.} = КЛ - МО_{ср} = 3^{\circ}20' - 5' = 3^{\circ}15'.$$

Наводим теодолит при КЛ на выбранную цель, где отсчет был равен 3°20', и наводящим винтом зрительной трубы устанавливаем исправленный отсчет. В этом случае точка отсчета сместится с центра сетки.

Вертикальными юстировочными винтами совмещаем центр сетки нитей с наблюдаемой точкой (рисунок 41). Для контроля исправления рекомендуется вновь определить значение МО.

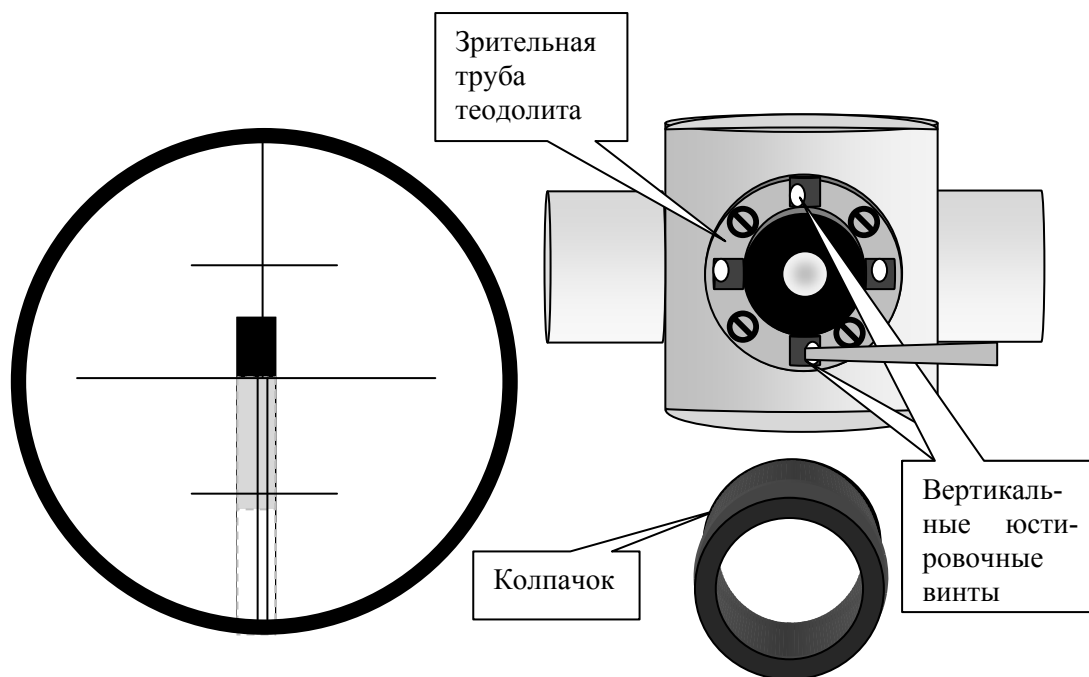


Рисунок 41 – Исправление места нуля вертикального круга

3.2. Нивелир Н–3. Устройство. Определение превышений. Поверки и юстировки

3.2.1. Устройство нивелира Н–3

Нивелир Н–3 относится к техническим нивелирам, предназначенным для выполнения инженерно-технических работ [3, 9]. По конструкции нивелир Н–3 относится к нивелирам, визирная ось которых устанавливается в горизонтальное положение при помощи цилиндрического уровня.

Основные части нивелира и их эксплуатация (рисунок 42)

1. Пружинистая пластинка устанавливается на штатив и с помощью станového винта штатива, который вкручивается во втулку, крепится к штативу.
2. С помощью подъемных винтов в нуль-пункт выводится пузырек круглого уровня.
3. Подставка (трегер) вместе с пружинистой пластинкой и подъемными винтами образует нижнюю некрутящуюся часть нивелира.
4. Круглый уровень служит для приближенной установки оси нивелира в отвесное положение. Цена деления круглого уровня – $5'$.
5. Исправительные винты круглого уровня служат для юстировки круглого уровня (ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира).
6. С помощью наводящего винта производится точное наведение нивелира на рейку по горизонтали.
7. Зрительная труба нивелира Н-3 имеет внутреннюю фокусировку и 30-кратное увеличение. Поле зрения – $1^{\circ}20'$.
8. В коробке цилиндрического уровня, над уровнем, расположена система оптических призм, с помощью которой изображение концов пузырька уровня передается в поле зрения трубы.
9. С помощью цилиндрического уровня визирная ось нивелира приводится в горизонтальное положение. Цена деления цилиндрического уровня – на 2 мм $15''$.
10. Кремальера служит для фокусирования трубы, т.е. для получения четкости изображения предмета, на который наводится нивелир. Вращая кремальеру в ту или иную сторону, добиваемся четкости изображения рейки, попадающей в фокус трубы.
11. Закрепительный винт служит для фиксации верхней части нивелира (зрительной трубы и коробки цилиндрического уровня) в неподвижном положении после приблизительного наведения нивелира на рейку).
12. С помощью элевационного винта пузырек цилиндрического уровня выводится на середину (нуль-пункт).

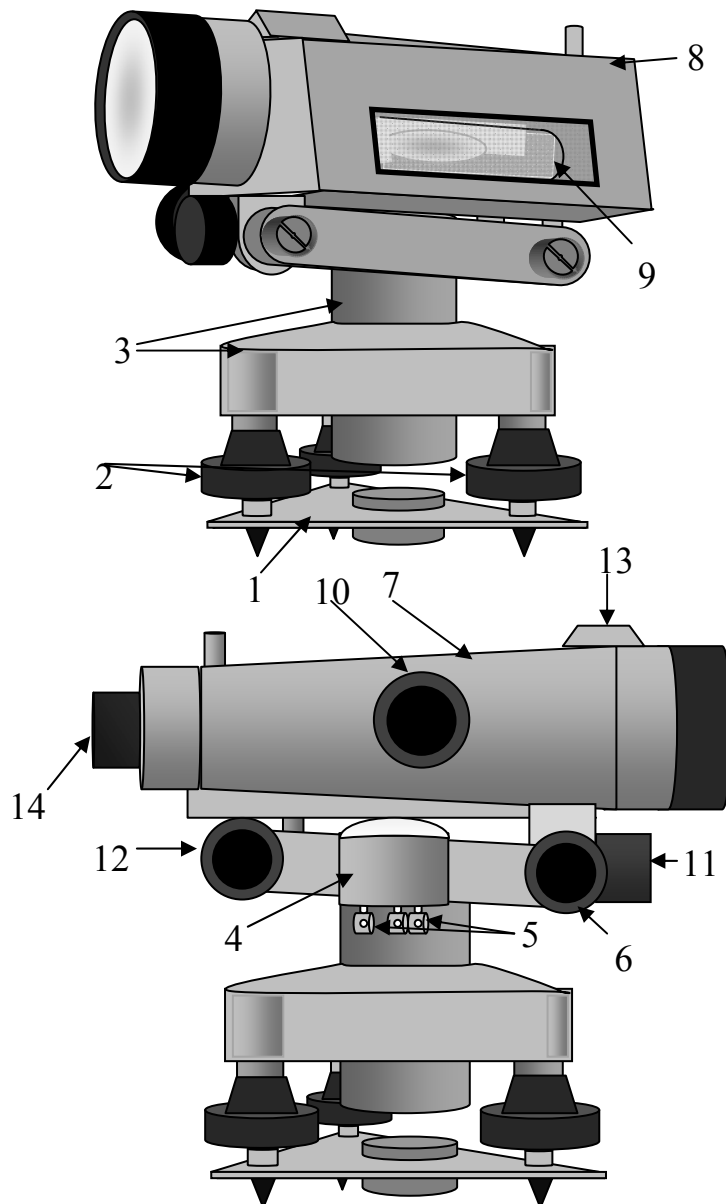


Рисунок 42 – Нивелир Н-3:

1 – пружинистая пластинка с втулкой; 2 – подъемные винты; 3 – подставка (трегер); 4 – круглый уровень; 5 – исправительные винты круглого уровня; 6 – наводящий винт; 7 – зрительная труба нивелира; 8 – коробка цилиндрического уровня; 9 – цилиндрический уровень; 10 – винт резкости изображения (кремальера); 11 – закрепительный винт; 12 – элевационный винт; 13 – мушка; 14 – окуляр зрительной трубы

Для этого необходимо совместить изображений концов половинок пузырька (рисунок 43). В этом случае горизонтальная ось визирования будет параллельна уровенной поверхности. Такие уровни называются контактными.

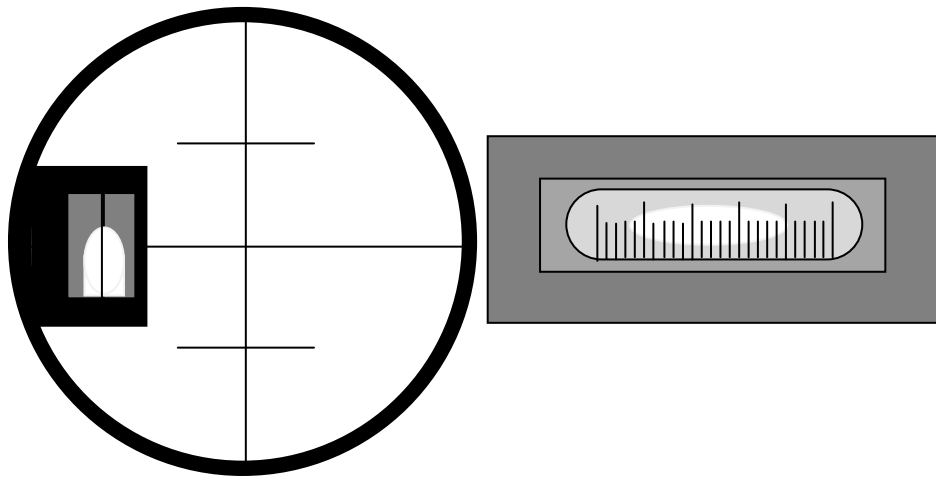


Рисунок 43 – Установка пузырька цилиндрического уровня на середину (нуль-пункт)

13. Мушка служит для приблизительного наведения зрительной трубы нивелира на рейку.

14. Вращением окуляра добиваемся четкости изображения сетки нитей.

3.2.2. Настройка нивелира в рабочее положение

Для приведения нивелира в рабочее положение необходимо произвести следующие действия:

1. Устанавливаем нивелир на штатив, закрепляем его и с помощью подъемных винтов приводим пузырек круглого уровня в нуль-пункт.

2. Поворачиваем верхнюю часть нивелира на 180° и, если пузырек остается в нуль-пункте, наводим нивелир на рейку.

3. После того как рейка попала в поле зрения трубы, закрепительным винтом фиксируем верхнюю часть нивелира в неподвижном положении. С помощью кремальеры добиваемся четкости изображения предмета (рейки), на которой наводим нивелир.

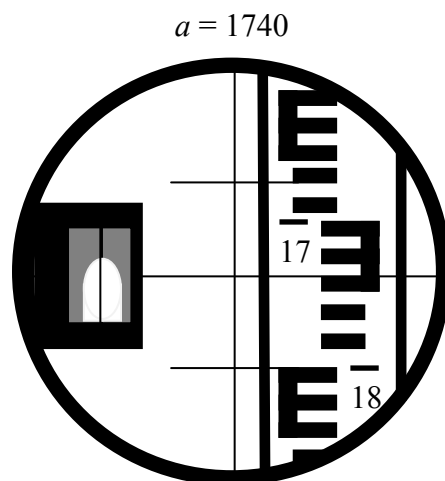


Рисунок 44 – Пример снятия отсчета с нивелирной рейки

4. Вращая окуляр зрительной трубы, добиваемся четкости изображения сетки нити. Наводящим винтом наводим сетку нитей на рейку.

5. Вращая элевационный винт, выводим пузырек цилиндрического уровня на середину, одновременно добиваемся совпадения половинок пузырька, находящегося в поле зрения трубы нивелира. После совмещения половинок пузырька цилиндрического уровня достигается условие, когда визирная ось нивелира становится параллельной уровенной поверхности. То есть нивелир приведен в рабочее положение, и можно брать отсчеты по рейкам.

3.2.3. Способы геометрического нивелирования

Нивелирование производится для определения высот точек земной поверхности, необходимых для изучения рельефа местности и изображении его на планах и картах. Определяется превышение между отдельными точками и, зная абсолютную отметку одной из них, можно определить отметки остальных. В геометрическом нивелировании превышения определяются отсчетом горизонтальным лучом визирования по вертикальным рейкам, на которые нанесены сантиметровые деления. Визирование осуществляется нивелиром. Существует два способа геометрического нивелирования: нивелирование вперед и нивелирование из середины.

Нивелирование вперед

При нивелировании вперед нивелир устанавливается над точкой с известной абсолютной отметкой (репером).

Измеряется высота прибора i (рисунок 45). Рейка устанавливается над точкой, отметку которой необходимо определить. Нивелир наводится на рейку и берется отсчет b . Превышение h находится по формуле

$$h = i - b.$$

Абсолютная отметка точки В находится по формуле

$$H_B = H_{Pn} + h.$$

Недостатком способа нивелирования вперед является необходимость измерения высоты инструмента, а также учета поправок за кривизну земли и рефракцию света.

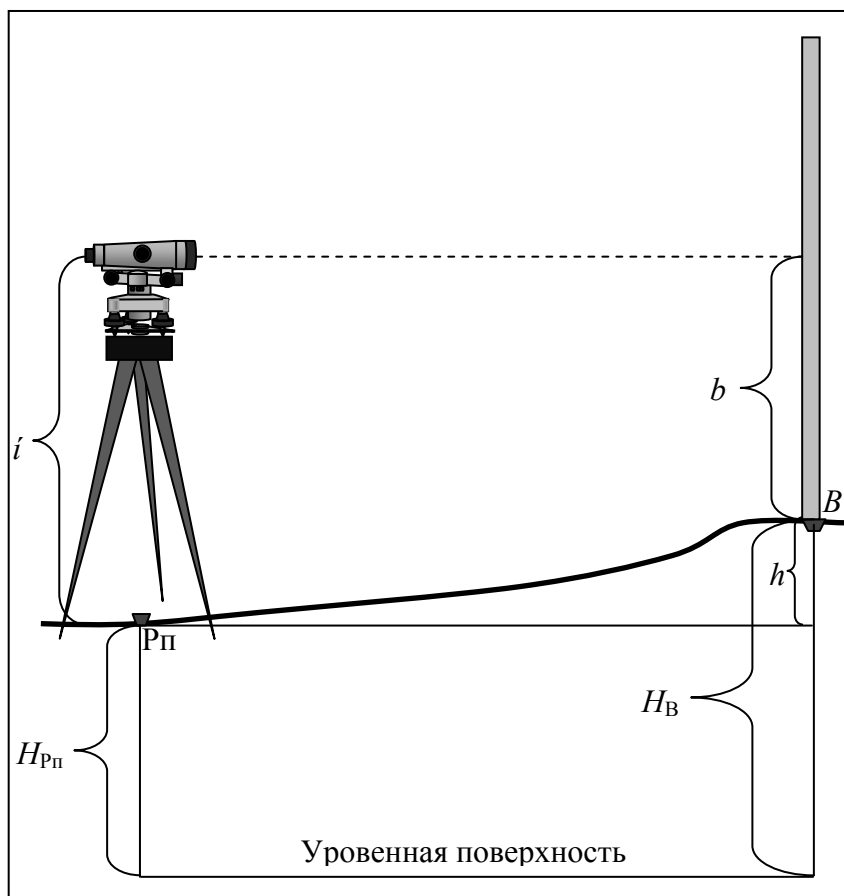


Рисунок 45 – Схема нивелирования вперед

Нивелирование из середины

Нивелирование из середины производится горизонтальным лучом визирования, параллельным уровенной поверхности, и является наиболее применяемым способом геометрического нивелирования (рисунок 46).

При этом способе нивелир устанавливается между двумя точками примерно на равном расстоянии от них (см. рисунок 46). Известна абсолютная отметка точки $A H_A$.

Нивелир приводится в рабочее положение и наводится на заднюю рейку. Берется отсчет $a_ч$ по черной стороне рейки; этот отсчет называется «взгляд назад». Поворачиваем рейку и берем отсчет по красной стороне; получаем отсчет $a_{кр}$. Переводим нивелир на рейку, установленную на точке B , и берем отсчеты по черной $b_ч$ и красной $b_{кр}$ сторонам рейки. Эти отсчеты называются «взгляд вперед». Как видно из рисунка 46, превышение между точками A и B равно: $h = a - b$, т.е. «взгляд назад» минус «взгляд вперед». Для предотвращения ошибок вычисляем среднее превышение между разницей отсчетов по черным и красным сторонам реек. Разница между двумя значениями h не должна превышать 5 мм.

$$h_1 = a_ч - b_ч;$$

$$h_2 = a_{кр} - b_{кр};$$

$$h_{ср} = (h_1 + h_2)/2.$$

Отметка точки B равна $H_B = H_A + h_{ср}$.

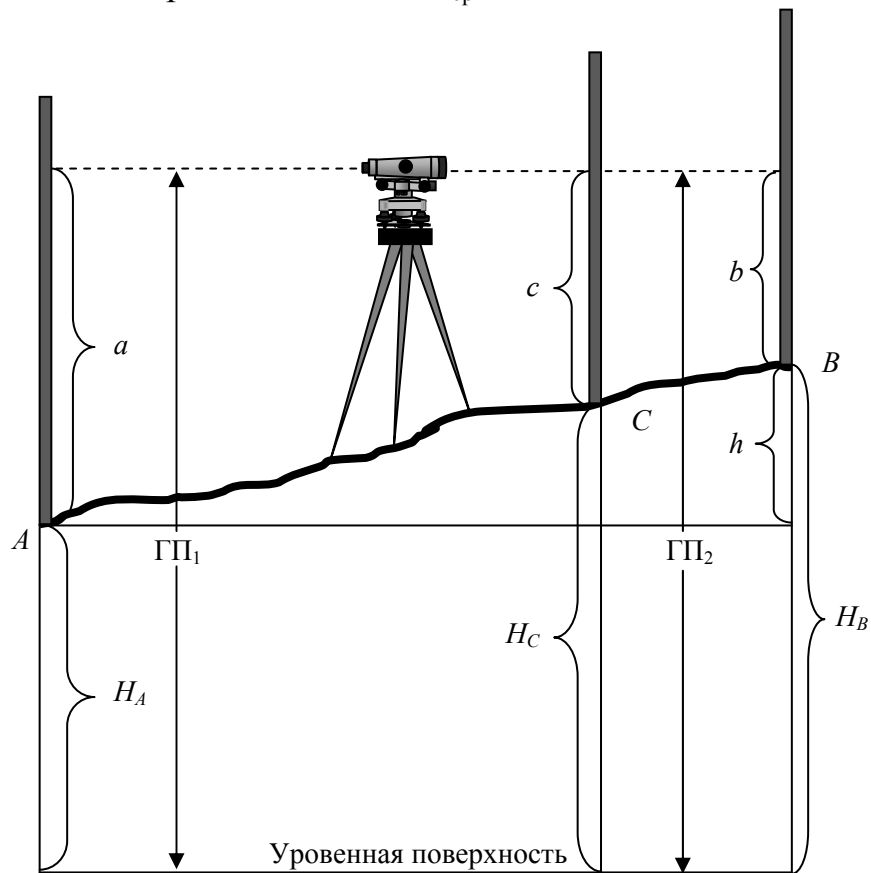


Рисунок 46 – Схема нивелирования способом из середины

Определение отметок промежуточных точек, горизонт прибора

При нивелировании часто возникает необходимость нивелировать точки, находящиеся либо в стороне от линии нивелирного хода, либо между связующими точками, но подчеркивающие особенности рельефа местности. Такие точки называются промежуточными. Их отметки вычисляются через горизонт прибора. Горизонтом прибора называется расстояние от уровенной поверхности до визирной оси нивелира. Горизонт прибора равен $ГП = H_A + a$ (см. рисунок 46), т.е. абсолютной отметке точки плюс отсчет по черной стороне рейки, установленной на этой точке. Например: необходимо определить абсолютную отметку точки C , расположенную между точками A и B (см. рисунок 46). Вычисляем горизонт прибора по формулам

$$ГП_1 = H_A + a;$$

$$ГП_2 = H_B + b;$$

$$ГП_{ср} = (ГП_1 + ГП_2)/2.$$

Разница между двумя значениями ГП не должна превышать 5 мм.

Устанавливаем рейку на точку C и берем отсчет по черной стороне, получаем отсчет c . Абсолютная отметка точки C равна: $H_C = ГП_{ср} - c$.

Нивелирование из середины имеет следующие преимущества:

1. На одной станции можно определить предельное превышение, равное длине рейки, т.е. значительно большее, чем при нивелировании вперед.

2. Отпадает необходимость измерения высоты инструмента. Так как расстояние между нивелиром и рейкой при всех прочих равных условиях ограничивается качествами трубы и уровнем инструмента, то при нивелировании из середины расстояние между нивелируемыми точками может быть вдвое больше, чем при нивелировании вперед.

3. Главным преимуществом этого способа является то, что при одинаковом расстоянии между рейками и нивелиром из измерений автоматически исключаются ошибки за кривизну земли, за рефракцию света и инструментальные ошибки.

3.2.4. Поверки и юстировки нивелира Н–3

Целью поверок и юстировок является выявление отступлений от идеальной геометрической схемы нивелиров, вызванных нарушением правильного взаимного расположения их частей и осей. Поверки и, если необходимо, юстировки следует выполнять систематически. После поверок и юстировок нивелира с цилиндрическим уровнем должно быть соблюдено главное условие: визирная ось нивелира и ось цилиндрического уровня должны быть параллельны. Если это условие выполнено, то после приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт визирная ось займет горизонтальное положение.

Поверка №1

Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира

Поверка выполняется аналогично тому, как круглый уровень приводится в рабочее положение. С помощью подъемных винтов пузырек круглого уровня приводится в нуль-пункт.

Поворачиваем верхнюю часть нивелира на 180° и если пузырек остается в нуль-пункте, то условие поверки выполнено. Если пузырек отошел от центра, то исправительными винтами уровня перемещаем пузырек к центру на половину его отклонения, а подъемными винтами приводим его в нуль-пункт.

Для контроля поверку повторяют. Перед каждой последующей поверкой предварительно приводят по круглому уровню ось нивелира в вертикальное положение. С этой целью устанавливают подъемными

винтами пузырек круглого уровня в центр кружка. После вращения верхней части нивелира пузырек должен оставаться в нуль-пункте.

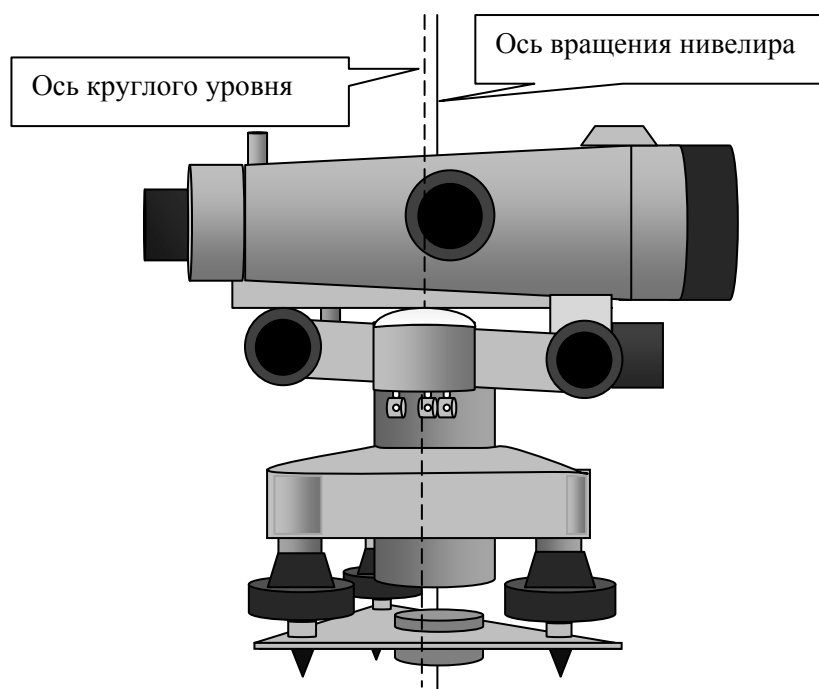


Рисунок 47 – Параллельность осей круглого уровня и оси вращения

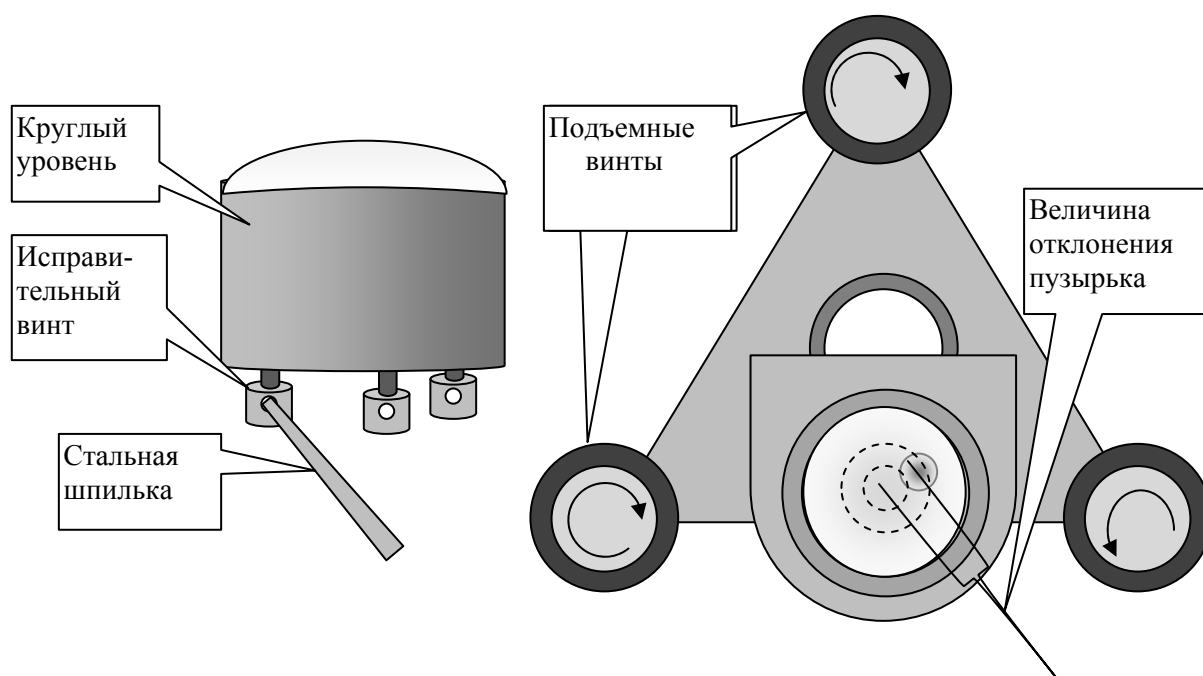


Рисунок 48 – Схема юстировки круглого уровня

Поверка №2

Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения нивелира

Средняя нить сетки наводится на ясно видимую точку, расположенную в 25–30 метрах от нивелира; наводящим винтом плавно вращаем трубу. Нить сетки не должна сходиться с выбранной точки. При несоблюдении этого условия необходимо ослабить винты, скрепляющие сетку с корпусом трубы (рисунок 49) и повернуть сетку в нужную сторону.

Для контроля поверку повторяют.

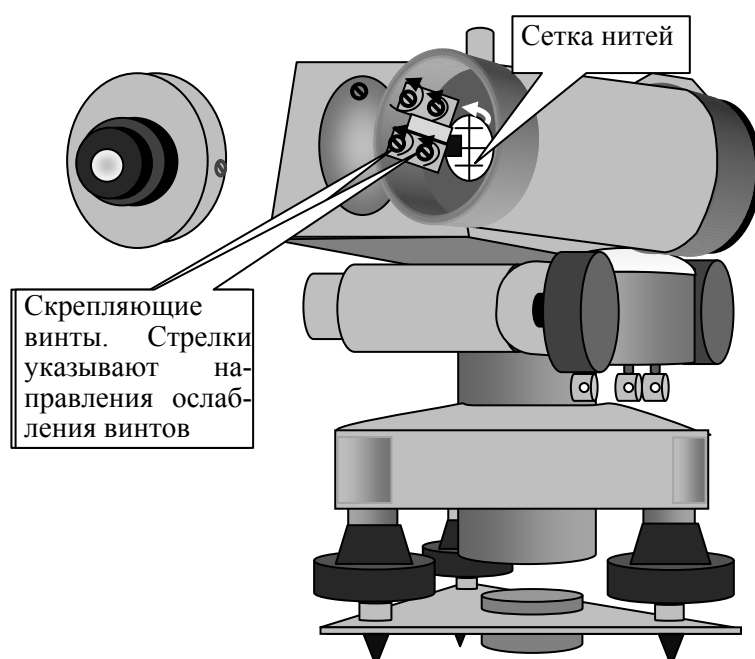


Рисунок 49 – Исправление вертикальности сетки нитей

Поверка №3

Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси трубы

Поверка этого главного геометрического условия производится двойным нивелированием одной и той же линии с разных ее концов. Длина линии около 50 метров. Концы линии закрепляются колышками.

Устанавливают нивелир в первой точке (точка *A*) так, чтобы окуляр находился над колышком (рисунок 50, а).

Приводим ось вращения нивелира в отвесное положение с помощью круглого уровня и измеряем высоту прибора.

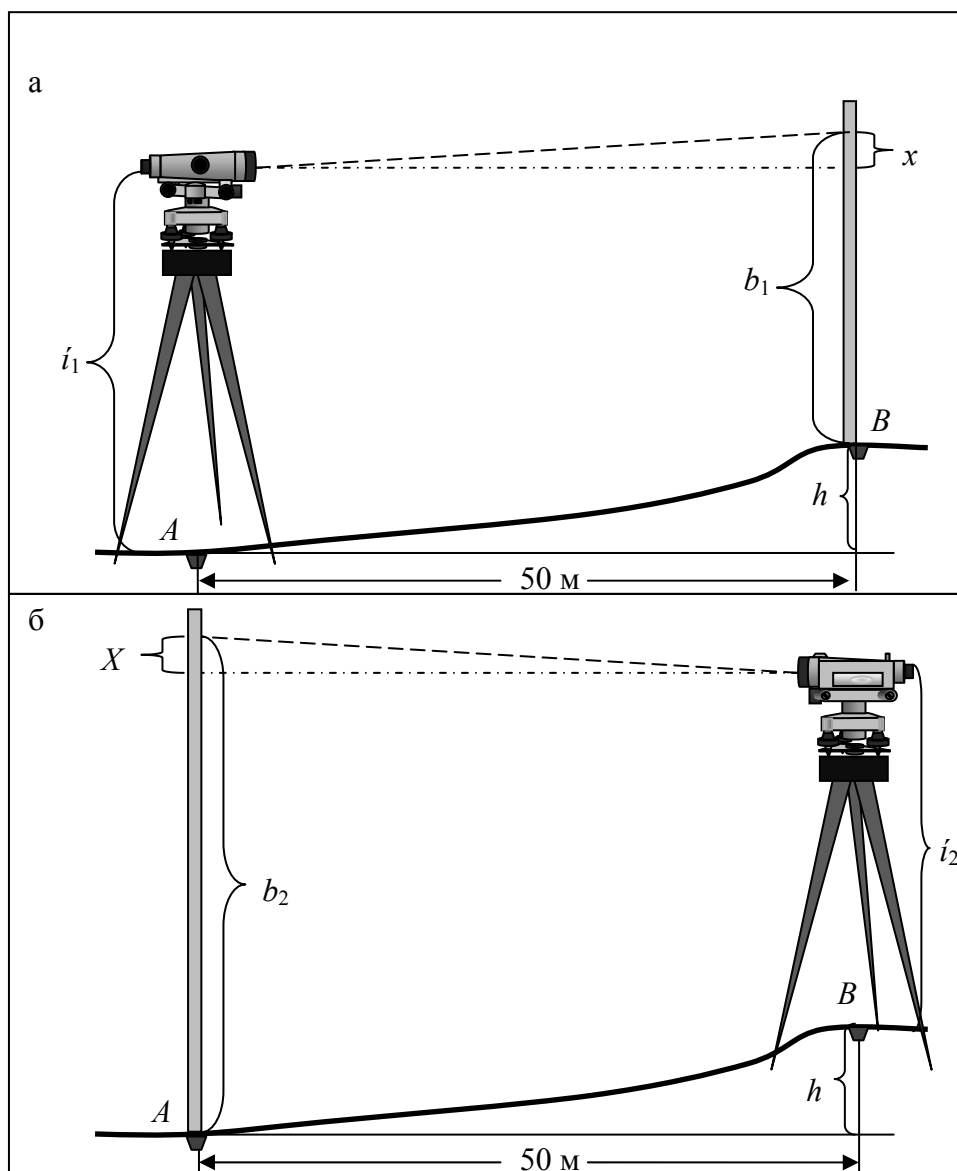


Рисунок 50 – Схема поверки оси цилиндрического уровня

В точке B устанавливаем рейку и берем по ней отсчет b_1 , предварительно элевационным винтом выведя пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт. Если визирная ось трубы и ось цилиндрического уровня не параллельны, то в отсчет b_1 войдет ошибка x .

Тогда $h = i_1 - (b_1 - x)$.

Переносим нивелир в точку B , измеряем высоту прибора и наводим его на рейку, установленную на точке A и делаем отсчет b_2 . Превышение, измеренное из точки B , будет равно $h = (b_2 - x) - i_2$ (рисунок 50,б).

Решая оба уравнения, получим:

$$x = [(b_1 + b_2) / 2] - [(i_1 + i_2) / 2].$$

Если x не превышает 4 мм, то исправление не производится. В противном случае при помощи элевационного винта наводим среднюю нить

на исправленный отсчет $b = b_2 - x$ и вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня совмещаем изображение концов пузырька (рисунок 51, 52). Например: $x = 10$ мм, тогда $b_2 = 1750$, $b = 1750 - 10 = 1740$. После исправления поверку повторяют.

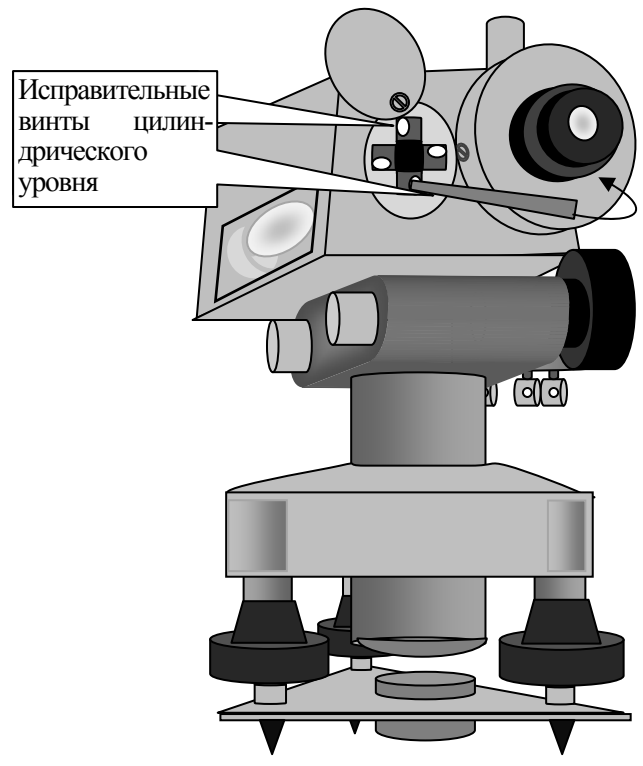


Рисунок 51 – Исправления положения оси цилиндрического уровня

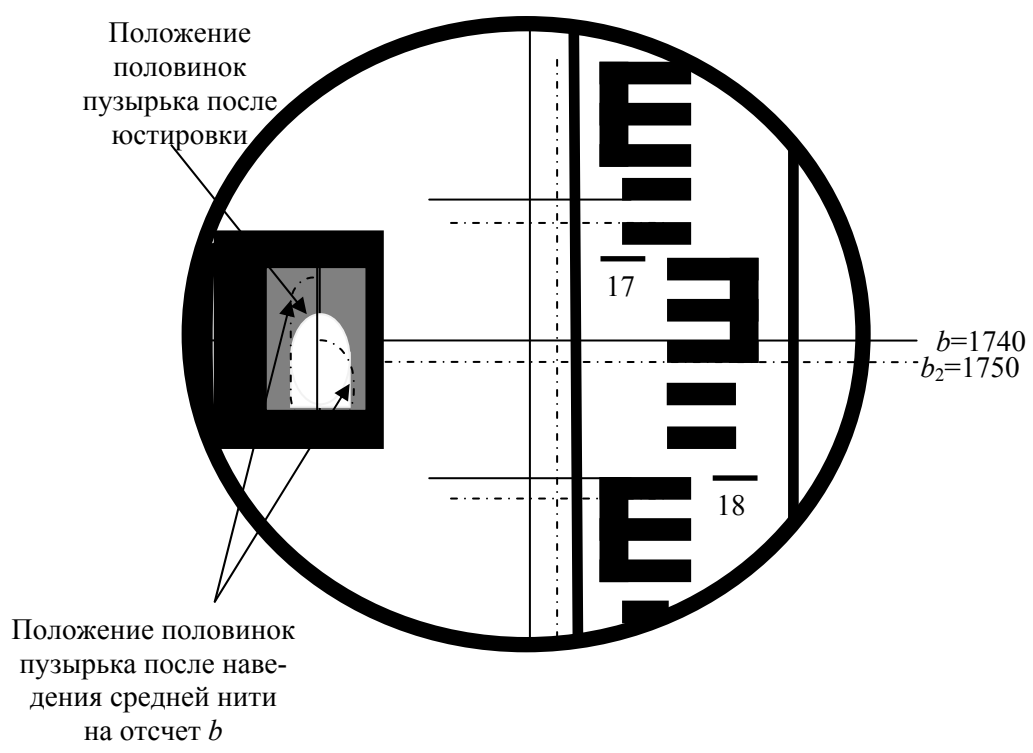


Рисунок 52 – Схема исправления положения оси цилиндрического уровня

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Громада, Э.К. Топографическая карта. Решение задач по карте при проектировании зданий и сооружений [Текст]: учеб.-метод. пособие / Э.К. Громада. – Пенза: ПГУАС, 2006. – 80 с.
2. Золотова, Е.В. Геодезия с основами кадастра [Текст] / Е.В.Золотова, Р.Н.Скогорева. – М: Академический Проект: Трикста, 2011. – 413 с.
3. Неумывакин, Ю.К. Практикум по геодезии [Текст] / Ю.К. Неумывакин. – М.: КолосС, 2008. – 318 с.
4. Перфилов, В.Ф. Геодезия [Текст] / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова. – М.: Высшая школа, 2006. – 350 с.
5. Поклад, Г.Г. Геодезия [Текст] / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Академический проект, 2008. – 592 с.
6. Условные знаки М 1:10000 [Текст]. – М.: Геостройизыскания, 2000.
7. Пономаренко, В.В. Мультимедийный курс лекций по геодезии [Текст] / В.В. Пономаренко. – Пенза: ПГУАС, 2013.
8. Пономаренко, В.В. Теодолит 4Т30 [Электронный ресурс]: мультимедийное учеб.-метод. пособие / В.В.Пономаренко, К.В.Краснов, М.С.Загарина. – Пенза: ПГУАС, 2011.
9. Пономаренко, В.В. Нивелир Н–3 [Электронный ресурс]: мультимедийное учеб.-метод. пособие / В.В. Пономаренко, К.В.Краснов, М.С. Загарина. – Пенза: ПГУАС, 2011.
10. Пономаренко, В.В. Измерение площадей по топографическим картам и планам [Электронный ресурс]: мультимедийные метод. указания к лабораторным занятиям /В.В. Пономаренко. – Пенза: ПГУАС, 2012.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ.....	7
1.1. Оформление листа топографической карты.....	8
1.2. Масштабы.....	10
1.3. Геодезические и прямоугольные координаты	13
1.4. Ориентирование линий. Азимуты, магнитные азимуты, дирекционные углы и румбы.....	20
1.5. Пример определения прямоугольных координат точек аналитическим способом	25
1.6. Примеры определения дирекционных углов и длин линий аналитическим способом	27
1.7. Измерение площадей участков земной поверхности	28
1.8. Рельеф местности и его изображение. Определение абсолютных отметок точек по топографическим картам.....	35
1.9. Искажение длин и площадей в проекции Гаусса – Крюгера.....	39
1.10. Вычисление координат точки пересечения двух прямых.....	42
1.11. Разграфка и номенклатура карт и планов	43
1.12. Условные знаки на планах и картах	49
2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ.	51
2.1. Порядок выполнения работы	51
2.2. Требования к оформлению курсовой работы.....	52
3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ.....	53
3.1. Теодолит 4Т30. Устройство, измерение углов, поверки и юстировки.....	53
3.2. Нивелир Н–3. устройство. Определение превышений. Поверки и юстировки.	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	77

Учебное издание

Пономаренко Вячеслав Витальевич

ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методическое пособие

Редактор Н.Ю. Шалимова

Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 5.11.12. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 80 экз.
Заказ № 193.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.