

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

Г. М. КУНОВСКАЯ, О. И. ЯКОВЦЕВА

ГЕОДЕЗИЯ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

**Учебно-методическое пособие по выполнению
лабораторных работ**

Гомель 2015

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

Г. М. КУНОВСКАЯ, О. И. ЯКОВЦЕВА

ГЕОДЕЗИЯ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

Одобрено методической комиссией заочного факультета в качестве учебно-методического пособия по выполнению лабораторных работ для студентов специальности «Организация дорожного движения»

Гомель 2015

УДК 528.48 (075.8)

ББК 26.12

К91

Рецензент – канд. техн. наук, доцент *Н. В. Довгелюк* (УО «БелГУТ»)

Куновская, Г. М.

К91 Геодезия и фотограмметрия : учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ / Г. М. Куновская, О. И. Яковцева ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 39 с.

ISBN 978-985-554-412-9

Рассмотрены устройство и работа с геодезическими приборами (теодолитом, нивелиром, электронным тахеометром), основы аэрофотограмметрии.

Предназначено для студентов заочного факультета специальности «Организация дорожного движения».

УДК 528.48 (075.8)

ББК 26.12

ISBN 978-985-554-412-9

© Куновская Г. М., Яковцева О. И., 2015

© Оформление. УО «БелГУТ», 2015

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие «Геодезия и фотограмметрия» разработано в соответствии с учебной программой дисциплины «Геодезия и фотограмметрия» (приложение А) и предназначено для студентов специальности «Организация дорожного движения».

Пособие включает вопросы по геодезическим измерениям и фотограмметрии, которые позволяют изучить автомобильное движение, определить типы двигающихся по дороге автомобилей, их распределение в потоке, рассчитать плотность, интенсивности и пропускную способности дороги, проанализировать причины заторов и дорожно-транспортных происшествий и т.п.

Геодезия – наука об измерениях на земной поверхности, в ней применяются преимущественно линейные и угловые измерения. Она подразделяется на высшую, космическую геодезию, топографию, фотограмметрию и прикладную геодезию. В настоящее время фотограмметрия находит применение в самых различных сферах человеческой деятельности. Спектр приложения этой науки весьма широк: картографирование земной поверхности, геодезия, космические исследования, экология, кадастр, криминалистика, геоинформационные системы (ГИС) и т.д.

В пособии рассмотрены основы фотограмметрии и основные геодезические приборы, применяемые при изысканиях, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог.

Данное пособие составлено в виде отдельных лабораторных работ, последовательность расположения которых соответствует типовой и рабочим программам.

Лабораторные работы № 1, 2 позволяют освоить работу с геодезическими приборами: теодолитом, тахеометром и нивелиром.

Лабораторная работа № 3 служит для приобретения навыков аэрофото-топографии.

Авторы выражают благодарность рецензенту кандидату технических, доценту Н.В. Довгелюк за замечания и предложения по улучшению пособия.

Лабораторная работа № 1

ТЕОДОЛИТ И РАБОТА С НИМ. ЭЛЕКТРОННЫЙ ТАХЕОМЕТР

Цель работы. Изучить устройство теодолитов Т30, 2Т30, 2Т30П и тахеометра. Овладеть приемами работы с ними и научиться измерять горизонтальные и вертикальные углы, магнитные азимуты, расстояния и превышения.

Приборы и принадлежности. Для выполнения работы необходимы: задание на лабораторную работу, теодолит, штатив, отвес, дальномерная рейка, буссоль.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

1.1 Классификация и устройство теодолита

Теодолиты – приборы, предназначенные для измерения горизонтальных и вертикальных углов. Теодолиты можно классифицировать по назначению, точности, конструктивным особенностям, степени автоматизации отдельной или нескольких операций, характеру выдаваемой информации и другим признакам.

В геодезии для измерения горизонтальных и вертикальных углов применяют специальный оптико-механический прибор-теодолит. В настоящее время выпускают теодолиты второго (2Т30), третьего (3Т30П) и четвертого (4Т30П) видов моделей. В теодолитах новых моделей улучшены и модернизированы некоторые устройства и технические характеристики. В новых моделях теодолита применяется новое оптическое устройство, позволяющее повысить точность снятия отсчетов.

По точности теодолиты делятся на три вида:

- высокоточные (Т05, Т1);
- точные (Т2, Т5);
- технические (Т30).

Повторительный шкаловой теодолит 2Т30П (рисунок 1) с односторонней отсчетной системой является модификацией предыдущих моделей теодолитов Т30 и 2Т30.

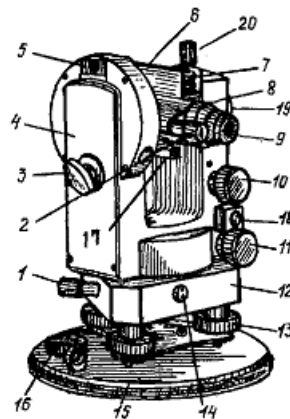
Теодолит 2Т30П расшифровывается следующим образом:

- 2 – модель второго поколения;
- Т – первая буква слова теодолит;
- 30 – средняя квадратическая погрешность измерения угла 30";
- П – зрительная труба теодолита прямого изображения.

У теодолита 2Т30П зрительная труба 8 дает прямое изображение и имеет оптический визир 17 для предварительного наведения на предмет. Фокусировка зрительной трубы осуществляется вращением винта кремальеры 19: установленный на трубе цилиндрический уровень 6 с юстировочным винтом 7 позволяет выполнять прибором нивелирование горизонтальным лучом. Ось вращения теодолита приводится в отвесное положение подъемными винтами 13 с помощью цилиндрического уровня 18 при горизонтальном круге. Уровень расположен параллельно коллимационной плоскости трубы и заменяет отсутствующий в приборе уровень вертикального круга. Вместе с трубой скреплены вертикальный круг 5 и отсчетный микроскоп 2, в поле зрения которого посредством оптической системы передается изображение отсчетных шкал обоих кругов. Для освещения шкал служит зеркало 3. Закрепительным винтом 20 трубу фиксируют в заданном положении, а наводящим винтом 10 медленно вращают в вертикальной плоскости до точного совмещения центра сетки нитей с визирной целью. Горизонтальный круг и алидадная часть могут вращаться совместно и раздельно, что обеспечивается наводящими винтами лимба 1 и алидады 11. Резьбовая часть винта 1 защищена втулкой 14. Основание теодолита, с которым скреплена подставка 12, служит одновременно дном футляра прибора. Вертикальная ось прибора полая, а основание в центре имеет винтовое отверстие. Это позволяет центрировать теодолит над вершиной измеряемого угла с помощью зрительной трубы, устанавливаемой вертикально объективом вниз. Закрепление прибора на головке штатива осуществляется становым винтом, ввинчиваемым в отверстие основания. При перевозке теодолита это отверстие закрывается крышкой 16.

Рисунок 1 – Теодолит 2Т30П:

- 1 – наводящий винт лимба горизонтального круга;
- 2 – отсчетный микроскоп; 3 – зеркало для подсветки горизонтального и вертикального кругов;
- 4 – крышка колонки; 5 – посадочный паз на вертикальном круге; 6 – цилиндрический уровень на трубе; 7 – юстировочные винты уровня;
- 8 – зрительная труба; 9 – объектив зрительной трубы; 10 – наводящий винт зрительной трубы;
- 11 – наводящий винт алидады горизонтального круга; 12 – подставка; 13 – подъемный винт;
- 14 – втулка; 15 – основание футляра; 16 – крышка;
- 17 – оптический визир; 18 – цилиндрический уровень горизонтального круга; 19 – кремальера;
- 20 – закрепительный винт зрительной трубы



Теодолит 2Т30П укомплектовывается ориентир-буссолью, устанавливаемой в посадочный паз 5 на вертикальном круге.

Созданы также электронные теодолиты (например, Т5Э), которые обеспечивают автоматическое считывание отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам. Угломерная часть электронного теодолита представляет собой растровый датчик накопительного типа. Датчиком угла служит стеклянный круг с нанесенным на него штрих-кодом. Сигнал, прочитанный фотоприемником, поступает в электронную часть датчика угла, обрабатывается и выводится в градусной мере на дисплей и в память прибора. Наличие двухосевого компенсатора обеспечивает автоматический ввод поправок за наклон в отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам.

Электронный теодолит является важной частью современного универсального прибора – *электронного тахеометра*.

1.2 Установка теодолита в рабочее положение

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

Центрирование выполняют с помощью отвеса. Устанавливают штатив над кольшком так, чтобы плоскость его головки была горизонтальна, а высота соответствовала росту наблюдателя. Закрепляют теодолит на штативе, подвешивают отвес на крючке станového винта и, ослабив его, перемещают теодолит по головке штатива до совмещения острия отвеса с центром кольшка. Точность центрирования нитяным отвесом 3–5 мм.

Пользуясь оптическим центриром теодолита (если такой у теодолита имеется), сначала надо выполнить горизонтирование, а затем центрирование. Точность центрирования оптическим центриром 1–2 мм.

Горизонтирование теодолита выполняют в следующем порядке. Поворачивая алидаду, устанавливают ее уровень по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырёк уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают алидаду на 90° и третьим подъемным винтом снова приводят пузырёк в нуль-пункт.

В горизонтированном теодолите при любом направлении уровня его пузырьки не должны отклоняться от нуль-пункта свыше половины деления ампулы.

Фокусирование зрительной трубы выполняют “по глазу” и “по предмету”. Фокусируя “по глазу”, вращением окуляра получают четкое изображение сетки нитей. Фокусируя “по предмету”, вращая рукоятку кремальеры, добиваются четкого изображения предмета. Фокусирование должно быть выполнено так, чтобы при покачивании головы наблюдателя изображение не перемещалось относительно штрихов сетки нитей.

1.3 Отсчетный микроскоп и снятие отсчета

Отсчетные устройства служат для взятия отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам. Они снабжены отсчетными микроскопами.

Различают микроскопы штриховые, шкаловые и микроскопы с оптическими микрометрами.

В штриховом микроскопе отсчет с точностью $1'$ берут по положению нулевого штриха алидады a (рисунок 2), интерполируя минуты на глаз.

Отсчетный микроскоп через систему призм и линз выводит в окуляр изображение градусных делений горизонтального и вертикального кругов. В поле зрения штрихового микроскопа теодолита Т30 (см. рисунок 2) видны штрихи делений угломерных кругов: вертикального В и горизонтального Г, а также штрих отсчетного индекса. Цена деления угломерных кругов равна $10'$, а отсчет снимают по штриху микроскопа с точностью до $1'$. На рисунке 2 отсчет по вертикальному кругу $350^{\circ}48'$, а по горизонтальному $159^{\circ}46'$.

В поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30П (рисунок 3) видны две шкалы, совмещённые с лимбами вертикального и горизонтального кругов. Цена деления горизонтальных и вертикальных кругов равна 1° , а цена деления шкалы $5'$. Отсчёты снимают по градусным штрихам лимбов с точностью до $0,5'$. Шкала вертикального круга теодолита 2Т30П имеет два ряда подписей. Если перед градусным делением отсутствует знак, отсчёт делают так же, как и по горизонтальному кругу. Если перед цифрой градусов стоит минус, то минуты считают по шкале от -0 до -6 (справа налево). На рисунке 3 отсчет по вертикальному кругу $-4^{\circ}47'$, а по горизонтальному $295^{\circ}36'$.

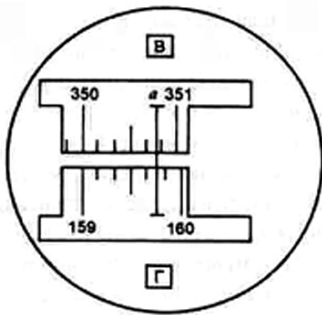


Рисунок 2 – Поле зрения штрихового микроскопа

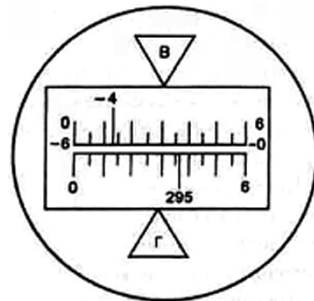


Рисунок 3 – Поле зрения шкалового микроскопа

1.4 Поверки и юстировка теодолита

Поверки теодолита выполняют для контроля соблюдения в приборе верного взаиморасположения его осей. Ось вращения теодолита называется вертикальной осью прибора, а ось вращения трубы – горизонтальной осью прибора. Визирная ось зрительной трубы соединяет центр сетки нитей и центр объектива. Осью цилиндрического уровня называется касательная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте.

Основные поверки

Поверка 1. *Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения алидады.*

Перед выполнением поверки выполняют горизонтирование теодолита. Затем устанавливают уровень по направлению двух подъёмных винтов и с их помощью приводят пузырёк в нуль-пункт. Поворачивают алидаду на 180° . Если пузырёк уровня остался в нуль-пункте, то требуемое условие выполнено – ось уровня перпендикулярна к оси вращения алидады. Если пузырёк уровня ушел из нуль-пункта, исправительными винтами уровня изменяют его наклон, перемещая пузырёк в сторону нуль-пункта на половину отклонения, а двумя подъёмными винтами, по направлению которых стоит уровень, приводят пузырёк на середину ампулы. Поверку повторяют, добиваясь, чтобы смещение пузырька было меньше одного деления.

Поверка 2. *Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси прибора.*

Если визирная ось перпендикулярна к оси вращения трубы, то отсчёты по горизонтальному кругу при разных положениях вертикального круга (круг слева и круг справа) и наведении на одну и ту же точку будут различаться ровно на 180° . Если разность отчетов отличается от 180° , то ось вращения трубы не перпендикулярна к визирной оси. При этом соответствующие отсчёты Л и П отличаются от правильных значений на одинаковую величину c , получившую название коллимационной ошибки.

При выполнении поверки визируют на удалённую точку при двух положениях круга и берут отсчёты Л и П. Вычисляют коллимационную погрешность по формуле

$$c = (Л - П \pm 180^\circ) / 2.$$

Величина c не должна превышать двойной точности теодолита. Если коллимационная погрешность велика, то наводящим винтом алидады устанавливают на горизонтальном круге верный отсчёт, равный $(Л - c)$ или $(П + c)$. При этом центр сетки нитей сместится с изображения точки. Отвинчивают колпачок, закрывающий винты сетки нитей, ослабляют один из вертикальных исправительных винтов и, действуя горизонтальными исправи-

тельными винтами, совмещают центр сетки нитей с изображением точки. Закрепив ослабленные винты, поверку повторяют.

Проверка 3. *Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита.*

Установив теодолит вблизи стены здания, визируют на высоко расположенную под углом наклона $25\text{--}30^\circ$ точку P . Наклоняют трубу до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию центра сетки нитей. Переводят трубу через зенит, вновь визируют на точку P и отмечают её проекцию. Если изображения обеих проекций точки не выходят за пределы биссектора сетки нитей, требование считают выполненным. В противном случае необходимо исправить положение оси вращения трубы. Исправление выполняют в мастерской, изменяя наклон оси.

Проверка 4. *Вертикальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к горизонтальной оси прибора.*

Наводят вертикальный штрих сетки нитей на точку и наводящим винтом трубы изменяют её наклон. Если изображение точки не скользит по штриху, сетку нитей надо повернуть. Для этого поворачивают корпус окуляра, ослабив четыре винта его крепления к зрительной трубе и поворачивают окуляр так, чтобы вертикальный штрих сетки нитей расположился вертикально. Закрепляют винты и поверку повторяют.

1.5 Измерение горизонтального угла

Измерение горизонтального угла выполняется способом приемов. Прием состоит из двух полуприемов.

Первый полуприем выполняют при положении вертикального круга слева от зрительной трубы. Приводят теодолит в рабочее положение. Закрепив лимб и открепив алидаду, наводят зрительную трубу на правую визирную цель. После того как наблюдаемый знак попал в поле зрения трубы, зажимают закрепительные винты алидады и зрительной трубы и, действуя наводящими винтами алидады и трубы, наводят центр сетки нитей на изображение знака и берут отсчёт по горизонтальному кругу. Затем, открепив трубу и алидаду, наводят трубу на левую визирную цель и берут второй отсчёт. Разность первого и второго отсчётов даёт величину измеряемого угла. Если первый отсчёт оказался меньше второго, то к нему прибавляют 360° .

Второй полуприем выполняют при положении вертикального круга справа, для чего переводят трубу через зенит. Чтобы отсчёты отличались от взятых в первом полуприеме, смещают лимб на несколько градусов. Затем измерения выполняют в той же последовательности, как в первом полуприеме. Если результаты измерения угла в полуприемах различаются не более двойной точности прибора (то есть $1'$ для теодолита Т30), вычисляют среднее, которое и принимают за окончательный результат.

1.6 Измерение вертикального угла

Измерение вертикального угла (угла наклона) начинают после приведения теодолита в рабочее положение. Наведение на визирную цель производят средним горизонтальным штрихом сетки нитей зрительной трубы, при этом следят, чтобы пузырек цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга находился в нуль-пункте. Отсчет берут по вертикальному кругу теодолита при круге право (П) и лево (Л), затем определяют место нуля и вертикальный (ν) угол. Вертикальный круг теодолита вращается вместе со зрительной трубой вокруг горизонтальной оси. Угол наклона измеряется относительно горизонтальной плоскости и вычисляется как разность отсчетов по этому кругу при наклонном и горизонтальном положениях визирной оси зрительной трубы.

Отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси трубы называется *местом нуля вертикального круга* (M_0).

Вычисляют значение M_0 :

для теодолита Т30 по формуле

$$M_0 = [(Л + П) - 180^\circ] / 2, \quad \nu = Л - M_0 \text{ или } \nu = M_0 - П - 180^\circ;$$

для теодолита 2Т30П по формуле

$$M_0 = (Л + П) / 2, \quad \nu = Л - M_0 \text{ или } \nu = M_0 - П.$$

В хорошо отъюстированном приборе M_0 близко или равно 0. Однако это условие иногда не соблюдается, при этом M_0 не должно превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита.

Поэтому, если место нуля велико, его исправляют. При круге лево и пузырька уровня в нуль-пункте наводят трубу на визирную цель, по которой определяют место нуля. Вращением наводящего винта трубы устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный углу ν . При этом изображение визирной цели сместится с центра сетки нитей. Действуя вертикальными исправительными винтами сетки нитей, совмещают ее средний горизонтальный штрих с той же визирной целью. Для контроля действия повторяют.

1.7 Измерение расстояний при помощи нитяного дальномера

Сетки нитей теодолитов кроме основных штрихов имеют дальномерные штрихи. Наведя трубу на рейку с делениями, по числу делений, уместившихся между дальномерными штрихами, можно определить расстояние до рейки. Точность такого определения характеризуется относительной погрешностью 1/300.

Для измерения расстояния на одном конце линии устанавливают теодолит, а на другом – рейку с сантиметровыми делениями. Наведя трубу на рейку (рисунок 4), совмещают один из дальномерных штрихов с границей двух ближайших дециметровых делений на рейке и подсчитывают число делений n между верхним и нижним штрихами. Измеренное расстояние определяют по формуле

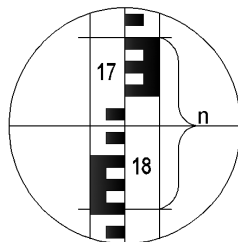


Рисунок 4 – Измерение расстояний нитяным дальномером теодолита

$$D = kn + c,$$

где k – коэффициент нитяного дальномера, который обычно равен 100;
 c – постоянная дальномера, обычно равна нулю.

1.8 Измерение превышений теодолитом способом тригонометрического нивелирования

Тригонометрическое нивелирование – определение превышений по измеренным вертикальным углам и расстояниям.

Для определения превышения между точками A и B (рисунок 5) на точке A устанавливают теодолит, а на точке B – рейку. Теодолитом измеряют угол наклона v .

Если известно горизонтальное расстояние d между точками A и B , то превышение h вычисляют по формуле

$$h = h' + i - V,$$

где h' – превышение над горизонтальным лучом теодолита;

i – высота прибора;

V – высота визирования;

$$h' = d \operatorname{tg} v. \quad (1)$$

Если расстояние AB измерено нитяным дальномером, то горизонтальное расстояние:

$$d = D \cos^2 v.$$

где D – наклонное расстояние.

Подставляя это выражение для d в формулу (1), получаем

$$h' = D \cos^2 \nu \operatorname{tg} \nu = D \cos^2 \nu (\sin \nu / \cos \nu) = D \cos \nu \sin \nu = 0,5 D \sin 2\nu,$$

и окончательно

$$h = 0,5 D \sin 2\nu + i - V. \quad (2)$$

Формула (2) находит применение при тахеометрической съемке местности.

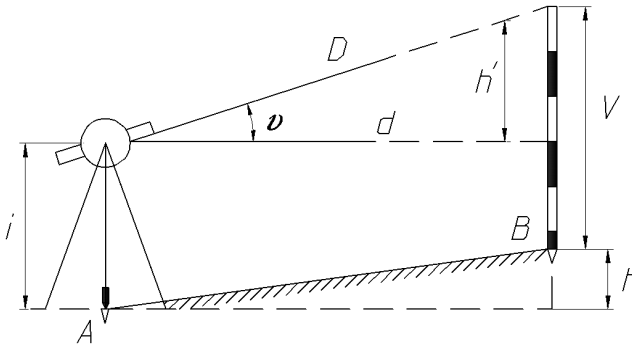


Рисунок 5 – Тригонометрическое нивелирование

1.9 Электронные тахеометры

Электронным тахеометром называется прибор, объединяющий в себе светодальномер, электронный теодолит и микро-ЭВМ (рисунок 6). Светодальномер прибора измеряет расстояние до отражателя (рисунок 7). Датчики горизонтального и вертикального кругов электронного теодолита выдают отсчеты по кругам. Отсчеты расстояния и углов передаются на индикацию и регистрацию. Микро-ЭВМ обеспечивает возможность решения целого ряда стандартных геодезических задач, для чего прибор снабжен набором необходимых прикладных программ. Полученная в результате измерений и вычислений информация высвечивается на цифровом табло, а также регистрируется во внутренней памяти прибора и на флэш-картах для последующего ввода в компьютер для дальнейшей обработки.

Электронный тахеометр имеет, как правило, две панели управления, расположенные с обеих сторон прибора. На панели управления расположены дисплей и клавиатура для управления процессом измерений и ввода информации вручную. Ввод информации и управление возможны и с дистанционного пульта управления (контроллера). Тахеометр может иметь световой указатель створа, облегчающий установку вехи с отражателем на линию, по которой направлена труба прибора.



Рисунок 6 – Электронный тахеометр

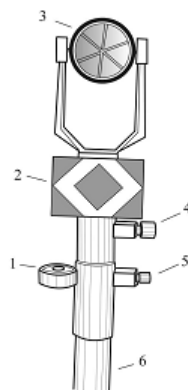


Рисунок 7 – Однопризменный отражатель:

1 – уровень; 2 – визирная марка;
3 – призма; 4, 5 – закрепительные
винты; 6 – штанга

Программное обеспечение электронных тахеометров поддерживает решение достаточно широкого круга задач. Обычно бывает предусмотрен ввод и сохранение данных о станции: ее координат, номера точки, высоты прибора, имени оператора, даты, времени, сведений о погоде (ветре, температуре, давлении). По результатам измерений выполняется вычисление горизонтальных и вертикальных углов, дирекционных углов линий, горизонтальных проложений, превышений, высот точек, где установлен отражатель, приращений координат, плоских и пространственных координат наблюдаемых точек. Предусмотрена возможность вычисления координат по результатам засечек, вычисления расстояния до недоступной для установки отражателя точки и координат недоступной точки, определения высоты недоступного объекта. Для обеспечения разбивочных работ служат программы вычисления угла и расстояния для выноса точки с заданными координатами. При решении задач учитывается рефракция световых лучей в атмосфере. В настоящее время на рынке имеется широкий выбор электронных тахеометров, выпускаемых разными фирмами, в числе которых Уральский оптико-механический завод (Россия), Sokkia (Япония), Trimble (США), Leica (Швейцария) и др. Характеристики приборов разных марок различаются. Средние квадратические погрешности измерения углов тахеометров лежат в пределах от 1" до 6". Максимальные дальности измерения расстояний на однопризменный отражатель различаются от 1600 до 5000 м.

При этом, точность измерений в среднем характеризуется ошибкой $2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} D$, где D – расстояние. Многие из электронных тахеометров позволяют измерять расстояния без отражателя. Дальность таких измерений меняется в разных приборах в пределах 70–350 м.

Использование электронных тахеометров значительно повышает производительность труда, упрощает и сокращает время на обработку результатов измерений, исключает такие ошибки исполнителя, которые имеют место при визуальном взятии отсчетов, при записи результатов измерений в журналы, в вычислениях. При работе с электронным тахеометром отпадает необходимость иметь калькулятор для выполнения полевых вычислений.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Выполнить проверки теодолита

Студенты выполняют проверки теодолита и делают описание каждой из них в журнале, выданном преподавателем. Затем делают пометки об их исправлении.

2.2 Измерить горизонтальный угол между двумя направлениями способом приемов

Устанавливают теодолит над вершиной B измеряемого угла (рисунок 8). Приводят теодолит в рабочее положение. При ориентированном и закрепленном лимбе, открепив алидаду, наводят центр сетки нитей на нижнюю часть вехи, установленной в точке A (рисунок 9).

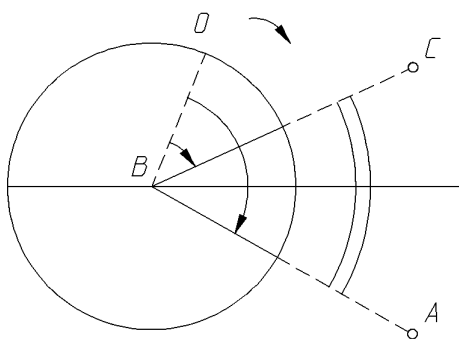


Рисунок 8 – Схема измерения горизонтальных углов способом приемов

Если сетка нитей имеет биссектор, то визируют так, чтобы изображение вехи располагалось в середине биссектора и ближе к центру сетки нитей. Наличие биссектора повышает точность визирувания, так как устраняется влияние на него толщины нитей. Закрепляют алидаду и зрительную трубу. Окончательное наведение центра сетки нитей производят, действуя наводящими винтами алидады и зрительной трубы. Берут первый отсчет.

Затем, ослабив закрепительные винты алидады и зрительной трубы, визируют на нижнюю часть вехи, установленной в точке *C*. Берут второй отсчет. Разность первого и второго отсчетов даст величину измеряемого горизонтального угла. Если отсчет при визировании на точку *A* окажется меньше отсчета на точку *C*, то к отсчету на точку *A* прибавляют 360° .

Указанные наблюдения, выполненные при одном положении вертикального круга, составляют один полуприем.

Для контроля и повышения точности угол измеряют второй раз. Для этого переводят зрительную трубу через зенит и при другом положении вертикального угла выполняют аналогичные наблюдения, которые составят второй полуприем. Два полуприема составляют один прием.

В теодолитах с односторонней системой отсчитывания по кругам лимб между полуприемами сдвигают на $1-2^\circ$.

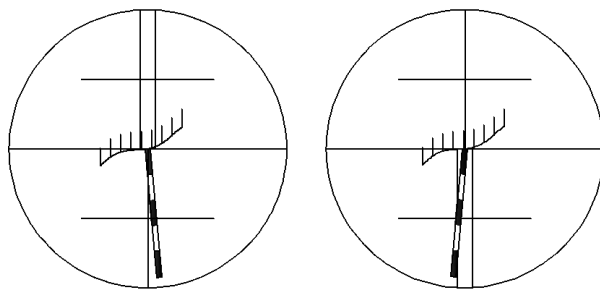


Рисунок 9 – Наведение на веху при измерении горизонтального угла (при круге «право» и круге «лево»)

Отсчеты и значения углов записывают в журнал соответствующей формы. Образец записи показан в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Измерение горизонтальных углов способом приемов

Точка стоянок	Круг	Точка наблюдений	Отсчеты		Угол		Средний из углов		Магнитный азимут
			градус	минуты	градус	минуты	градус	минуты	
В	П	С	208	43	33	52	33	53	3°58'
		А	174	51					33°52'
	Л	С	25	20	33	54			330°06'
		А	351	26					

Измерить магнитные азимуты сторон угла и проконтролировать полученную величину горизонтального угла. Современные теодолиты снабжены ориентир-буссолью. Ориентир-буссоль прикрепляется к теодолиту по резьбе в специальном посадочном пазу (см. рисунок 1). При использовании для измерения магнитного азимута ориентир-буссоли предварительно устанавливают диаметр горизонтального круга $0-180^\circ$ параллельно направлению магнитного меридиана. Для этого зажимают закрепительный винт лимба и вращением алидады устанавливают на горизонтальном круге теодолита отсчёт $0^\circ 00'$. Зажимают закрепительный винт алидады, отпускают закрепительный винт лимба и, вращая теодолит, совмещают магнитную стрелку с центральными штрихами буссоли, расположенными по направлению север-юг. Затем вновь зажимают закрепительный винт лимба и, вращая алидаду горизонтального круга теодолита, наводят зрительную трубу вначале на правую точку, а затем на левую и снимают отсчеты по горизонтальному кругу. Эти отсчёты и будут являться магнитными азимутами данных направлений. По разности магнитных азимутов вычисляют величину горизонтального угла и сравнивают её со средним значением измеренного угла. Допускается расхождение между ними не более двойной точности отсчётного устройства теодолита.

На с.5 задания лабораторной работы нужно составить схематический чертеж измеренного угла от северного направления линии «север-юг».

2.3 Измерить вертикальный угол на рейку

При измерении вертикального угла зрительную трубу наводят наверх реек и снимают отсчеты по вертикальному кругу, при круге лево и право. Для вычисления значений углов наклона определяют место нуля. Все отсчеты и результаты вычислений записывают в журнал, образец показан в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Вычисление вертикального угла и место нуля

Точка стояния	Точка наведения	Положение вертикального круга	Отсчеты		Место нуля	Вертикальный угол
			градус	минуты		
В	Рейка 1	П Л	Теодолит Т30		$+0^\circ 01'$	$+4^\circ 33'$
			175	28		
			4	34		
N	Рейка 2	П Л	Теодолит 2Т30П		$-0^\circ 01,5'$	$+6^\circ 16,5'$
			-6	18		
			+6	15		

2.4 Измерить расстояние при помощи нитяного дальномера теодолита

При измерении расстояния теодолит устанавливают на одном конце линии, а на другом – дальномерную рейку. Наводят трубу на рейку с делениями. Верхний штрих нитяного дальномера наводят наверх одного из дециметровых делений нивелирной рейки, а по нижнему штриху снимают отсчет (см. рисунок 4).

Отсчет $n = 14,6$ см, тогда расстояние $D = 100 \cdot 14,6 + 0 = 1460$ см = 14,6 м.

2.5 Определить превышение теодолитом

При измерении превышения теодолитом используют способ тригонометрического нивелирования (см. рисунок 5).

При определении превышения угол наклона ν и расстояние D выписывают соответственно из пунктов 2.9 и 2.10 журнала заданий; измеряют высоту прибора – i ; измеряют высоту визирования – V ; вычисляют превышение по формуле тригонометрического нивелирования:

$$h = 0,5 D \sin 2\nu + i - V \quad \text{или} \quad h = d \operatorname{tg} \nu + i - V .$$

2.6 Тахеометр Leica TS06

Изучают правила техники безопасности при работе с тахеометром, затем устройство и принцип работы электронным тахеометром.

Лабораторная работа № 2

НИВЕЛИР И РАБОТА С НИМ

Цель работы. Изучить устройство и проверки нивелиров и нивелирных реек. Приобрести практические навыки в выполнении нивелирования способом из середины.

Приборы и принадлежности. Нивелир, штатив, нивелирные рейки.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

1.1 Методы нивелирования

Нивелированием называется измерение превышений с целью определения высот точек. Путем нивелирования значения высот передают от исходных точек с известными высотами на точки, высоты которых надо определить.

В зависимости от применяемых приборов и методов различают следующие виды нивелирования.

Геометрическое нивелирование – метод определения превышений путем взятия отсчетов по вертикальным рейкам при горизонтальном луче визирования. Это основной метод нивелирования. Методом геометрического нивелирования создана государственная нивелирная сеть, создаются инженерно-геодезические высотные сети различного назначения.

Тригонометрическое нивелирование – метод определения превышения путем измерения вертикального угла и расстояния. Метод используют при создании высотного обоснования топографических съемок, а также при определении превышений и передаче высот на строительных площадках.

Барометрическое нивелирование основано на зависимости между высотой и атмосферным давлением. Для определения превышений измеряют атмосферное давление и температуру в точке с известной высотой и в точках, высоты которых определяют. По разностям давлений вычисляют превышения. Метод применяют при работах в труднодоступной местности, им пользуются геологи, геофизики. Точность измерений этим методом невысокая: на равнинной местности – 0,5 м, в горной – 1,5 м.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах устанавливаться на одном уровне. Простейший гидростатический нивелир представляет собой два сосуда с делениями, соединенные шлангом. Систему заполняют дистиллированной водой. Точность метода очень высокая (0,1 мм), поэтому он применяется при монтаже и выверке конструкций по высоте, особенно при работе в стесненных условиях, при передаче отметок через водные преграды, для наблюдений за деформациями сооружений (плотин, мостов, ускорителей частиц и пр.).

Определение превышений и высот точек с помощью спутниковых измерений. Автономное определение высот точек аппаратурой ГЛОНАСС и GPS выполняется с точностью нескольких метров, а определение превышений между точками – с точностью 10–15 мм.

1.2 Нивелиры

Отечественная и зарубежная промышленность выпускает приборы различной конструкции и точности.

По устройству различают следующие типы нивелиров.

Нивелиры с уровнем при трубе снабжены точным цилиндрическим уровнем, приводимым для измерений вместе со зрительной трубой в горизонтальное положение вручную. Нивелирами с уровнем при трубе являются нивелиры российского производства Н-3, Н-05, 3Н5Л и др.

Нивелиры с компенсатором углов наклона отличаются наличием устройства, автоматически приводящего визирную ось зрительной трубы в горизонтальное положение. Компенсатор работает в пределах 12–15', поэтому прибор предварительно устанавливают в рабочее положение по круглому уровню. Такими нивелирами являются Н-3К, 3Н2КЛ и др.

Нивелиры с оптическим микрометром (например, нивелир Н-05) имеют перед объективом стеклянную пластину, повороты которой вокруг ее горизонтальной оси смещают лучи света параллельно самим себе. Это позволяет наводить визирную ось точно на штрих рейки. Величина смещения измеряется оптическим микрометром, чем достигается высокая точность отсчета по рейке.

Лазерные нивелиры излучают видимый пучок света. Отсчет берут по световому пятну на рейке.

Цифровые нивелиры автоматически формируют отсчет по рейке, шкала которой представляет собой штриховой код. Снабжены компенсатором углов наклона. Отсчеты по рейкам регистрируются на магнитном носителе. Примером такого прибора является нивелир SDL30M (Япония).

По точности нивелиры делят на *высокоточные*, *точные* и *технические* в зависимости от величины средней квадратической погрешности m_h измерения превышения на 1 км двойного хода (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 – По своей точности нивелиры выпускают

Типы нивелиров	Точность	Примеры нивелиров
Высокоточные	$m_h \leq 0,5$ мм	Н-05 (Россия), PL1 (Япония)
Точные	$m_h \leq 3$ мм	3Н2КЛ, Н-3, Н-3К (Россия), С300 (Япония), DSZ3 (Китай)
Технические	$m_h \leq 5$ мм	3Н5Л (Россия), АТ20D (Китай)

1.3 Устройство нивелира Н-3

Основными частями нивелира Н-3 являются зрительная труба 13 и скрепленный с ней цилиндрический уровень (рисунок 1), с помощью которого визирная ось трубы приводится в горизонтальное положение.

Зрительная труба имеет закрепительный 3 и наводящий 4 винты. Поле зрения трубы и отсчет по рейке показаны на рисунке 2.

Приближенное приведение оси вращения нивелира в отвесное положение производят с помощью круглого уровня 5, называемого также установочным.

Элевационный винт 10 позволяет незначительно наклонять зрительную трубу вместе с цилиндрическим уровнем 14 относительно оси вращения нивелира.

Положение цилиндрического уровня относительно визирной оси трубы изменяют с помощью четырех исправительных винтов 12, расположенных слева от окуляра 11 в торцовой части коробки уровня.

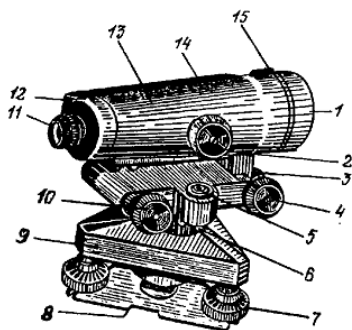


Рисунок 1 – Устройство нивелира НЗ:

1 – объектив зрительной трубы; 2 – винт кремальеры; 3 – закрепительный винт зрительной трубы; 4 – наводящий винт зрительной трубы; 5 – круглый уровень; 6 – исправительные винты круглого уровня; 7 – подъемные винты; 8 – пружинящая пластина с втулкой для станового винта; 9 – подставка; 10 – элевационный винт, 11 – окуляр зрительной трубы; 12 – торцовая часть коробки цилиндрического уровня, где расположены его исправительные винты; 13 – корпус зрительной трубы; 14 – коробка цилиндрического уровня; 15 – мушка для приближенного наведения трубы на рейку

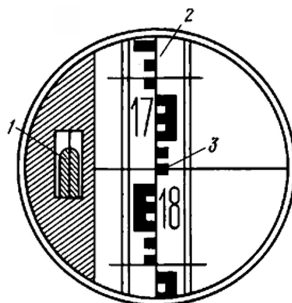


Рисунок 2 – Поле зрения зрительной трубы нивелира НЗ:

1 – изображения концов пузырька цилиндрического уровня совмещены – пузырек в нуль-пункте; 2 – изображение нивелирной рейки; 3 – отсчеты по рейке: по средней нити 1785 мм, по дальномерным штрихам 1680 и 1890 мм

Над цилиндрическим уровнем расположено призмное устройство, позволяющее получать изображения концов пузырька. Такой уровень называется контактным. Вращением элевационного винта добиваются, чтобы изображения концов пузырька были совмещены (или произошел контакт). В этот момент пузырек будет находиться в нуль-пункте (см. рисунок 2).

У нивелира Н-З изображения концов пузырька передаются в поле зрения зрительной трубы.

1.4 Поверки нивелира Н-3

Необходимая точность нивелирования может быть достигнута только в том случае, если обеспечено верное взаиморасположение основных осей нивелира. Для контроля предъявляемых к прибору требований в начале и периодически в ходе работ выполняют проверки нивелира.

Приводят нивелир в рабочее положение (горизонтируют). Устанавливают круглый уровень по направлению двух подъемных винтов, выводят пузырек на середину вначале двумя и подправляют третьим винтом.

Основные проверки

Проверка 1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора.* Подъемными винтами нивелира приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт. Поворачивают нивелир на 180° вокруг оси его вращения ii (рисунок 3). Если после поворота пузырек остался в нуль-пункте, проверяемое условие выполнено – ось круглого уровня ee параллельна оси вращения прибора ii .

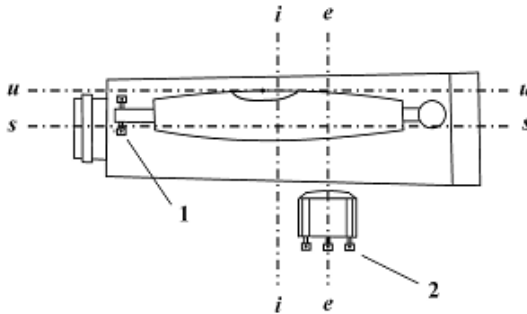


Рисунок 3 – Оси и исправительные винты нивелира:
 ss – визирная ось зрительной трубы; ii – ось вращения прибора;
 iii – ось цилиндрического уровня; ee – ось круглого уровня;
1 – исправительные винты цилиндрического уровня;
2 – исправительные винты круглого уровня

Если пузырек ушел из нуль-пункта, исправительными винтами 2 изменяют наклон уровня так, чтобы пузырек сместился в сторону нуль-пункта на половину отклонения. Для поворота исправительных винтов пользуются шпилькой. Проверку повторяют.

Проверка 2. *Одна из нитей сетки должна быть перпендикулярна оси вращения нивелира.* С помощью круглого уровня ось вращения нивелира устанавливают в отвесное положение. Наводят пересечение нитей сетки на неподвижную рейку, установленную на расстоянии (20 ± 5) м, и замечают точку наведения (отсчет). Если при вращении трубы с помощью наводящего винта горизонтальная нить не уклоняется от точки наведения, т. е. отсчет по

рейке остается неизменным, то условие выполнено. В противном случае отвинчивают и снимают окулярную часть зрительной трубы и за счет люфта в отверстиях для винтов, удерживающих оправку сетки в корпусе трубы, поворачивают сетку.

Проверка 3. *Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.*

Проверка выполняется путем измерения одного и того же превышения дважды – из середины и с неравными расстояниями до реек.

На расстоянии 75–100 м друг от друга закрепляют две точки, на которые устанавливают рейки (рисунок 4). В середине, на равных расстояниях от реек, устанавливают нивелир и, приводя пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, берут отсчеты a и b по рейкам и вычисляют превышение $h = a - b$.

Если визирная ось трубы не параллельна оси уровня и потому наклонена на угол i , то вместо верных отсчетов a и b будут прочтены отсчеты a_1 и b_1 . Вследствие равенства расстояний до реек ошибки в обоих отсчетах будут одинаковыми, $\Delta a = \Delta b$. Вычисленное при этом превышение

$$h = a_1 - b_1 = (a + \Delta a) - (b + \Delta b) = a - b.$$

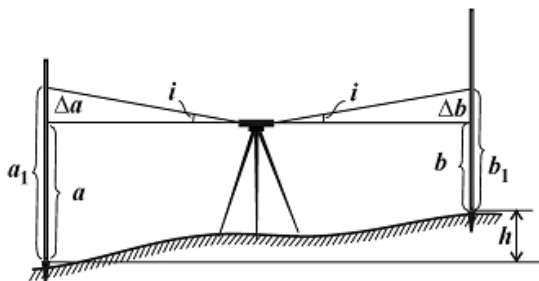


Рисунок 4 – Проверка цилиндрического уровня.
Измерения из середины

Следовательно, несмотря на ошибки отсчетов, вызванные непараллельностью оси уровня и визирной оси трубы, превышение, вычисленное по измерениям из середины, – верное.

Нивелир переносят и устанавливают на расстоянии 2–3 м от одной из реек (рисунок 5). Берут отсчет b_2 по ближней рейке. Ввиду малости расстояния до рейки погрешность в отсчете b_2 , вызванная наклоном луча визирования, мала. Поэтому отсчет b_2 считают безошибочным.

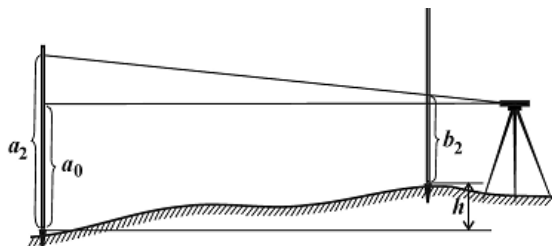


Рисунок 5 – Проверка цилиндрического уровня.
Измерения с неравными расстояниями до реек

Вычисляют отсчет, который должен быть на дальней рейке, если луч визирования горизонтален: $a_0 = b_2 + h$.

Наводят нивелир на дальнюю рейку и берут фактический отсчет a_2 . Сравнивают вычисленный и фактический отсчеты.

Если вычисленный a_0 и фактический a_2 отсчеты различаются меньше, чем на 4 мм, то считают, что ось цилиндрического уровня *ии* (см. рисунок 3) параллельна визирной оси *ss*.

Если вычисленный и фактический отсчеты различаются больше, чем на 4 мм, то положение цилиндрического уровня необходимо исправить.

Для этого элевационным винтом наводят средний штрих сетки нитей на отсчет a_0 по дальней рейке. При этом пузырек цилиндрического уровня уйдет из нуля-пункта. Вертикальными исправительными винтами приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, совмещая изображения концов половинок пузырька в поле зрения трубы. Проверку повторяют.

1.5 Нивелирные рейки

Для технического нивелирования применяют трехметровые двухсторонние шашечные рейки (РНЗ и РН10). На обеих сторонах рейки наносят сантиметровые деления – шашки, которые на одной стороне окрашивают черной краской, а на другой – красной. Сантиметровые деления группируют по пять. Дециметровые деления оцифровывают. В зависимости от того, какое изображение дает зрительная труба нивелира (обратное или прямое), применяют перевернутую или прямую оцифровку дециметровых делений.

Для нивелирования из середины используют две рейки (рисунок 6).

На черных сторонах началу шкал реек соответствуют нули. На красных сторонах началу шкалы одной рейки соответствует отсчет, например, 4687 мм, другой рейки – 4787. Такие рейки называются комплектными. Та-

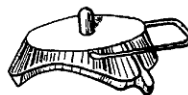
кая оцифровка комплекта реек обеспечивает контроль в определении превышений на станциях.

Каждая рейка имеет круглый уровень и приспособление для нитяного отвеса. Рейки устанавливают на костыли или башмаки (рисунок 7).



Рисунок 6 – Рейка для нивелирования

а)



б)



Рисунок 7 – Приспособления для установки нивелирных реек:
а – башмак; б – костыль

1.6 Геометрическое нивелирование

Геометрическое нивелирование выполняют, используя нивелир и нивелирные рейки. Нивелир – прибор, в котором визирный луч приводится в горизонтальное положение. Отсчеты берут по шкалам устанавливаемых вертикально нивелирных реек. Оцифровка шкал на рейках возрастает от пятки рейки вверх. Если на пятке рейки расположен ноль шкалы, то отсчет по рейке равен расстоянию от пятки до луча визирования.

Геометрическое нивелирование выполняют двумя способами – “из середины” и “вперед”.

Нивелирование из середины – основной способ. Для измерения превышения точки *B* над точкой *A* (рисунок 8) нивелир устанавливают в середине между точками (как правило, на равных расстояниях). На точках *A* и *B* устанавливают нивелирные рейки. Приводят нивелир в рабочее положение, затем элевационным винтом цилиндрического уровня приводят пузырек в

нуль-пункт. Берут отсчет a по задней рейке и отсчет b по передней рейке. Превышение вычисляют по формуле

$$h = a - b.$$

Обычно для контроля превышение измеряют дважды – по черным и красным сторонам реек. За окончательный результат принимают среднее.

Если известна высота H_A точки A , то высоту H_B точки B определяют по формуле

$$H_B = H_A + h.$$

Высота визирного луча над уровнем моря называется горизонтом нивелира и обозначается ГН:

$$\text{ГН} = H_A + a = H_B + b = H_A + h + b.$$

Высота промежуточной точки вычисляется по формуле

$$H_C = \text{ГН} - c.$$

Для контроля определяется высота точки B через горизонт нивелира:

$$H_B = \text{ГН} - b.$$

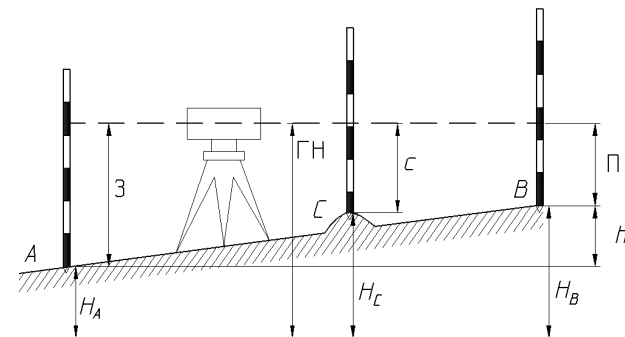


Рисунок 8 – Геометрическое нивелирование из середины

При *нивелировании вперед* (рисунок 9) нивелир устанавливают над точкой A и измеряют (обычно с помощью рейки) высоту прибора i . В точке B , высоту которой требуется определить, устанавливают рейку. Приведя визирную ось нивелира в горизонтальное положение, берут отсчет b по черной стороне рейки. Вычисляют превышение:

$$h = i - b.$$

Отметку точки B можно вычислить через превышение по формуле

$$H_B = H_A + h$$

или через горизонт нивелира:

$$H_B = \text{ГН} - b.$$

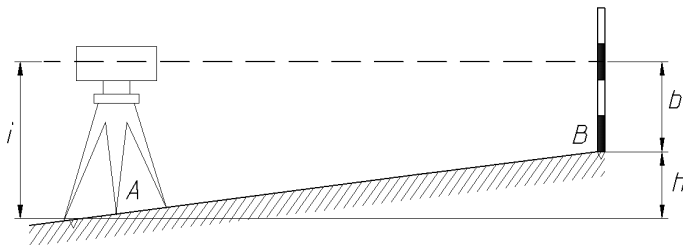


Рисунок 9 – Геометрическое нивелирование вперед

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Выполнить поверки нивелира

Студенты выполняют поверки нивелира и делают описание каждой из них в журнале, выданном преподавателем. Затем делают пометки об их исправлении (юстировки).

2.2 Измерение превышений нивелированием из середины

Геометрическое нивелирование из середины заключается в следующем. Нивелир устанавливают горизонтально и по рейкам (см. рисунок 8), стоящим в точках A и B , снимают отсчеты в следующем порядке (таблица 2):

- 1) задняя черная сторона $З_ч = 0872$ мм;
- 2) передняя черная сторона $П_ч = 0568$ мм;
- 3) передняя красная сторона $П_кп = 5360$ мм;
- 4) задняя красная сторона $З_кп = 5668$ мм;
- 5) отсчет по промежуточной (плюсовой) $c = 1743$ мм.

Результаты измерений записывают в журнал технического нивелирования (см. таблицу 2) и выполняют вычисления высот точек.

Т а б л и ц а 2 – Журнал технического нивелирования

Номер страи- цы	Точки наблю- дения	Отсчёты по рейкам			Превышения				Горизонт нивелира, м	Высоты точек, м
		задние	перед- ние	проме- жуточ- ные	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	А	0872 5668							100,872	100,000
	С		0566 5363	1743	0306 0305		0306			99, 129
	В									100,306 100,306

2.3 Вычисление превышений и высот (отметок) точек при геометрическом нивелировании из середины

Для вычисления отметки искомой точки можно использовать превышения или применять способ вычисления через горизонт нивелира (см. рисунок 8).

Превышения определяют по разности отсчетов на заднюю и переднюю рейки, по черной и красной сторонам:

$$h_{ч} = (З_{ч} - П_{ч}) = 0872 - 0566 = +0306 \text{ мм};$$

$$h_{кр} = (З_{кр} - П_{кр}) = 5668 - 5363 = +0305 \text{ мм}.$$

Эти величины необходимо записать в журнал в графу 6 (если превышение со знаком плюс) или в графу 7 (если превышение со знаком минус).

Расхождение между превышениями по чёрной и красной сторонам реек не должно превышать 5 мм. Если этот допуск соблюдается, то находят среднее арифметическое:

$$h_{ср} = (h_{ч} + h_{кр}) / 2$$

$$h_{ср} = (0306 + 0305) / 2 = +0306 \text{ мм}.$$

Среднее превышение округляют до 1 мм к ближайшей чётной цифре и записывают в графы 8 или 9 журнала в зависимости от знака превышения.

Исходную отметку H_A записывают в графу 11 напротив точки А ($H_A = 100,000$ м).

Отметку H_B определяют как сумму

$$H_B = H_A + h_{ср} = 100,000 + 0,306 = 100,306 \text{ м}.$$

При вычислениях отсчеты и превышения в миллиметрах необходимо перевести в метры.

Высоту H_B записывают в графу 11 напротив точки B .

Высоту точки C определяют через горизонт нивелира:

$$ГН = H_A + З_ч = 100,000 + 0,872 = 100,872 \text{ м.}$$

Результат вычислений записывают в графу 10.

Высоту промежуточной точки C вычисляют по формуле и записывают в графу 11 напротив точки C :

$$H_C = ГН - c = 100,872 - 1,743 = 99,129 \text{ м.}$$

Для контроля высоты точки B вычисляют через горизонт нивелира по формуле и записывают в графу 11:

$$H_B = ГН - П_ч = 100,872 - 0,566 = 100,306 \text{ м.}$$

В качестве отчета о выполненной работе студентам необходимо предоставить задание с результатами измерений и вычислений.

Лабораторная работа № 3

ОСНОВЫ АЭРОФОТОТОПОГРАФИИ

Цель работы. Изучить материалы аэросъемки, приобрести первичные навыки в работе с аэроснимками, фотосхемами, фотопланами.

Приборы и принадлежности. Аэроснимки, репродукция накидного монтажа, фотосхемы, фотопланы, измеритель, масштабная линейка.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

1.1 Фототопографические съемки

Фототопография – раздел геодезии, изучающий методы создания планов и карт путем фотографирования территории. Ее делят на наземную (фототеодолитную) съемку, производимую с земли, и аэрофотосъемку – с воздуха. Фотографирование территории осуществляется специальным аэрофотоаппаратом (АФА) в основном с самолета, но иногда и с вертолета. Различают аэрофотосъемку комбинированную и стереофототопографическую. При комбинированной съемке по аэроснимкам составляется ситуационная

часть плана, а рельеф снимается в поле мензульным комплектом или тахеометром. При стереофототопографической съемке контурная часть и рельеф изображаются по аэроснимкам в камеральных условиях на специальных фотограмметрических приборах.

Стереофототопографическая съемка – основной метод создания топографических карт на больших площадях. Ее достоинства – быстрота, точность и полнота изображения местности.

Комбинируемую съемку эффективно применяют в равнинных районах со слабо выраженным рельефом и там, где нужна особая точность определения высот точек.

Измерения по снимкам требуют значительно меньших затрат труда, чем на земной поверхности. Поэтому методы фототопографии имеют исключительно важное значение при изысканиях путей сообщения.

1.2 Основы аэрофотосъемки

Съемка больших территорий в настоящее время осуществляется методами фотограмметрии, изучающей способы и технологию определения форм, размеров, положения в пространстве, количественные и качественные характеристики объектов по их изображениям.

Изображения местности получают с помощью специальной аппаратуры, устанавливаемой на авиационных или космических носителях. Для аэрофотосъемки используют самолеты (например, АН-30, ТУ-134, ИЛ-18), сверхлегкие летательные аппараты (малые самолеты, мотодельтапланы) и вертолеты. Космическая съемка выполняется с искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций.

Среди аэрокосмических различают съемки фотографические, сканерные, тепловые инфракрасные, радиолокационные и др.

Основным видом аэрокосмической съемки является **аэрофотосъемка**, которую выполняют с помощью *аэрофотоаппаратов*. Аэрофотоаппаратом изображение местности фиксируется на фотопленке – черно-белой, цветной или спектрзональной. Наиболее распространены форматы снимков: в нашей стране – 18×18 см и 30×30 см, за рубежом – 18×18 см и 23×23 см.

Возможность раздельно различать на снимке мелкие близко расположенные детали изображения называется *разрешающей способностью* снимка. В настоящее время аэрофотоснимки имеют разрешающую способность 10–40 линий на миллиметр.

При фотографировании на аэроснимке фиксируется изображение местности, а также координатные метки, которые определяют плоскую систему координат снимка (рисунок 1).

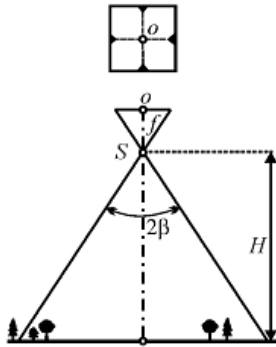


Рисунок 1 – Схема фотосъемки:
 S – центр проектирования снимка;
 f – фокусное расстояние;
 H – высота фотографирования

Аэрофотоснимок, угол наклона которого при фотографировании был равен нулю, называется *горизонтальным*, при угле наклона, не превышающем 3° , – *плановым*, при угле наклона более 3° – *перспективным*.

Различают аэрофотосъемку *одинарную* – это съемка отдельных объектов, *маршрутную* – фотографирование полосы местности вдоль заданной линии (например, автомобильных и железных дорог) и *площадную* – фотографирование местности несколькими параллельными маршрутами.

Фотографирование выполняют так, чтобы смежные снимки одного маршрута имели продольное перекрытие не менее 60 %, а снимки соседних маршрутов – поперечное перекрытие не менее 30 %.

Аэрофотоснимок представляет собой центральную проекцию точек местности на плоскость снимка (см. рисунок 1). Масштаб горизонтального снимка

$$\frac{1}{M} = \frac{f}{H},$$

где M – знаменатель масштаба;

f – фокусное расстояние аэрофотоаппарата;

H – высота полёта.

Для выполнения космических съемок используют космические фотоаппараты, являющиеся длиннофокусными модификациями аэрофотоаппаратов.

Наряду с аэрофотоаппаратами при аэросъемке стали применять цифровые электронные камеры, сканеры и другие съемочные системы, создающие цифровые изображения местности.

1.3 Дешифрирование снимков

Дешифрирование – процесс распознавания на аэроснимках сфотографированных предметов местности, обозначения их условными знаками, принятыми при составлении карт, и установления их качественных и количественных характеристик. Полученные при аэрокосмической съемке сним-

ки надо дешифровать, то есть опознать изображенные на них объекты и определить их количественные и качественные характеристики.

Так, например, при изображении дороги необходимо условным знаком показать, шоссейная она или грунтовая; при изображении лесных массивов указывают породу и возраст леса. Некоторые же элементы совсем не могут быть получены фотографически: названия населенных пунктов, глубины болот, линии связи, административные границы и т. д. Такие элементы наносят на аэроснимки по результатам дополнительных измерений и обследований. Дешифрирование проводят по фотосхемам или контактными отпечаткам в пределах рабочей площади аэроснимка.

Дешифрирование различают топографическое и тематическое. Цель **т о п о г р а ф и ч е с к о г о** дешифрирования – получение информации о местности, необходимой для составления топографических карт и планов, **т е м а т и ч е с к о г о** – получение специальной информации (например, экологической).

В каждом отдельном случае должны быть выявлены детали и особенности местности, влияющие на выполнение специальных задач. При любом тематическом дешифрировании в первую очередь проводят топографическое дешифрирование, так как оно дает картографическую основу для нанесения специальных элементов.

Дешифрирование снимков бывает камеральное, полевое и комбинированное.

К а м е р а л ь н о е дешифрирование выполняется в стационарных условиях путем анализа изображений на снимках и сопоставления их с имеющимися эталонами. При этом используют прямые и косвенные дешифровочные признаки.

Прямые признаки непосредственно указывают на характер объекта. Сюда относят форму, размер, фототон и тень от объекта.

На плановом аэроснимке изображение формы контура, характерной для различных предметов местности, передается без искажения. Размер изображения зависит от масштаба снимка. Тон зависит от многих причин, в первую очередь от способности данной поверхности отражать от себя лучи света, от освещенности поверхности и др. Так, например, сухие дороги изображаются светлыми тонкими линиями; пашня на снимке тем темнее, чем больше ее влажность. Водные пространства получаются темными и тем темнее, чем больше глубина и темнее дно. При косом освещении вода получается светлой, а иногда из-за солнечных бликов совсем белой. Многие объекты имеют характерный рисунок, например: зернистой структурой изображается лес, полосами – огороды. Изображения теней от предметов часто похожи на очертания самих предметов.

К косвенным признакам дешифрирования относят расположение данного объекта относительно окружающих предметов. Например, дорога, заканчивающаяся у реки и продолжающаяся по другую ее сторону, свидетельст-

вует о наличии моста или брода; если по дну лощины просматриваются заросли кустарника, то это говорит о возможном наличии ручьев и т. д.

При камеральном дешифрировании прямые и косвенные признаки используют совместно. Большую помощь оказывают *снимки-эталоны*, которые получают на основании тщательного изучения и полевого дешифрирования снимков, характерных для данного района. Как правило, снимки дешифрируют одним каким-либо методом – полевым или камеральным: участки, которые не вызывают сомнений или на которые есть эталоны, дешифрируют камерально, в других случаях производят полевое дешифрирование.

Применяя прямые и косвенные признаки дешифрирования, используя имеющиеся эталоны полевого дешифрирования, а также сведения о дорогах, реках, линиях связи, линиях электропередачи, административные материалы и т. д., объекты съемки дешифрируют и по мере распознавания их вычерчивают на аэроснимке тушью: зеленым цветом – воды (реки, озера, болота и т. д.), черным – границы землепользования, очертания предметов местности и угодий, коричневым цветом – рельеф в горизонталях.

Полезно знать некоторые признаки часто встречающихся объектов ландшафта.

Границы землепользования обычно проходят по опушкам леса, дорогам или просекам, часто совпадают с живым урочищем – оврагом, рекой. Границы иногда сопровождаются посадкой из деревьев или кустарников.

Населенные пункты изображаются параллельными рядами прямоугольников. Поселки сельского типа часто расположены вдоль рек, имеют приусадебные участки в виде узких полос различного тона. К населенному пункту со всех сторон подходят дороги.

Пути сообщения изображаются тонкими светлыми линиями, железные дороги – строго прямыми или плавными кривыми (железные дороги обычно сопровождаются лесными посадками). Шоссейные дороги имеют плавные, но более крутые повороты. Грунтовые проселочные и полевые дороги изображаются тонкими белыми линиями с крутыми поворотами.

Воды изображаются ровным тоном от светлого до темного, отмели и острова – белым тоном. Направление течения определяется по имеющимся островам и притокам. Острова тупым концом обращены против течения реки, а острым по течению.

Пахотные земли на аэроснимке изображаются различным тоном в зависимости от влажности и наличия растительности. На пашне часто видны борозды. Пашни не примыкают непосредственно к рекам, озерам, болотам. К ним чаще всего подходят луга, которые изображаются серым тоном. На участке скошенного луга могут просматриваться копны и стога сена.

Леса на аэроснимке имеют характерный зернисто-бархатный рисунок. Хвойный лес имеет более темный тон по сравнению с лиственным. Отчетливо видны кварталы леса, разделенные просеками.

Кустарник изображается сплошным бархатистым массивом сероватого тона. Как правило, кустарник располагается по склонам рек, ручьев, оврагов.

Часто невозможно по снимку получить достаточные характеристики объектов, например, количество проводов на столбах линии связи, скорость течения реки, отличить луг от болота и др. Тогда камеральное дешифрирование дополняется более дорогим – *полевым дешифрированием*. При полевом дешифрировании специалист, обходя местность, непосредственно сравнивает изображения на снимке с объектами и устанавливает их характеристики.

Комбинированный способ дешифрирования сочетает в себе процессы камерального и полевого дешифрирования. Распознаваемые бесспорно объекты местности и явления природы дешифрируют в камеральных условиях, затем осуществляют полевую доработку сложных участков с одновременным контролем результатов камерального дешифрирования.

Для увеличения изображения предметов на аэроснимке, а также для получения стереоскопической модели местности при камеральном дешифрировании применяют цифровые фотограмметрические станции.

В настоящее время при специальных аэрофотосъемках в сложных условиях местности используют многослойные цветные двух- и трехслойные спектрально-зональные пленки. Эти пленки содержат слой эмульсии, чувствительный к невидимым инфракрасным лучам спектра, который способствует выделению некоторых особенностей местности.

1.4 Искажения и трансформирование снимков

Изображение местности на снимке имеет искажения, основные из которых обусловлены непостоянством высоты фотографирования, рельефом местности, наклоном снимка, кривизной земной поверхности. Изменение высоты фотографирования вызывает изменение масштаба аэроснимков. В результате искажений аэрокосмические снимки имеют разный масштаб, причем неодинаковый в разных частях снимка.

Трансформирование аэрофотоснимков – это преобразование плановых или перспективных снимков в горизонтальные снимки заданного масштаба.

Трансформирование различают фотомеханическое и компьютерное.

Фотомеханическое трансформирование выполняется на фототрансформаторах. Для *компьютерного* трансформирования аэрофотоснимок преобразуют в цифровую форму, после чего преобразование выполняют по стандартным компьютерным программам. По компьютерным программам выполняется и трансформирование сканерных снимков.

1.5 Составление по снимкам фотопланов, фотосхем и топографических планов

Фотоплан монтируют из трансформированных аэроснимков. Основой фотоплана служит бумага, наклеенная на лист алюминия или картона. На основу наносят координатную сетку и по их координатам – опорные точки. На трансформированных снимках опорные точки прокалывают пуансоном, после чего, совмещая отверстия на снимках с опорными точками на основе, середину снимков приклеивают к основе. Наклеив два соседних снимка, разрезают их посередине перекрытия и подклеивают края на стыке снимков. Покрыв снимками всю площадь, получают единое фотографическое изображение местности, соответствующее по точности топографическим планам того же масштаба. Обычно на фотоплан наносят координатную сетку и подписывают названия населенных пунктов, рек и других объектов.

Фотосхему монтируют без использования опорных точек. Смежные снимки совмещают методом "мигания". На снимок, закрепленный на основе, накладывают смежный снимок и быстрыми отгибаниями его в зоне перекрытия совмещают контуры снимков. Закрепив середину смежного снимка, оба снимка разрезают посередине перекрытия. Продолжая, получают фотографическое изображение местности – фотосхему, менее точную, но требующую меньше времени для ее составления. Можно составлять фотосхемы и из нетрансформированных аэроснимков.

Планы местности по снимкам составляют, применяя *стереофотограмметрический метод*, заключающийся в совместной обработке пар перекрывающихся аэроснимков, полученных фотографированием местности из двух разных точек. Два снимка одного участка местности, полученные фотографированием из разных точек, называют *стереопарой*.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Изучить материалы аэросъемки

При рассмотрении аэроснимков следует обратить внимание на их нумерацию, на координатные метки, с помощью которых определяют положение главной точки снимка.

Накидной монтаж служит для оценки качества залета. Его монтируют наложением аэроснимков друг на друга, совмещая одноименные контуры на перекрывающихся частях.

Репродукцию накидного монтажа используют для регистрации снимков, составления проекта плановой и высотной привязки аэроснимков.

2.2 Определить масштаб аэроснимка

Масштаб аэроснимка – это отношение отрезка на аэроснимке к соответствующему отрезку на местности (фотоплане). Чтобы повысить точность определения масштаба и учесть наклоны аэроснимка, нужно дважды определить значение масштаба и из них взять среднее значение. Для этого на аэроснимке сначала проводят линии, соединяющие противоположные координатные метки. Их пересечение дает положение главной точки снимка (рисунок 2).

Затем выбирают два отрезка между четкими контурными точками, которые можно было бы отождествить на местности (фотоплане).

Вместо измерения расстояний на местности нужно определить их по фотоплану. Поэтому, выбирая точки на аэроснимке, необходимо убедиться, что они хорошо опознаются на фотоплане.

Нужно стремиться, чтобы отрезки проходили через главную точку аэроснимка, были взаимно перпендикулярны и концы их, по возможности, располагались симметрично относительно главной точки. Отклонение от этих требований не должно превышать 3 см, а в отношении перпендикулярности –15°.

Далее определяют длины отрезков на аэроснимке d_1 и d_2 , соответствующие расстояния на местности D_1 и D_2 . Измерения на снимке нужно делать в миллиметрах с точностью до 0,1 мм. Результаты измерения на фотоплане (М1:10000) получают в метрах, если используют измеритель и поперечный масштаб; если применяют линейку с миллиметровыми делениями, то эти расстояния, взятые с фотоплана в миллиметрах с точностью до 0,1 мм, умножают на знаменатель масштаба (10000).

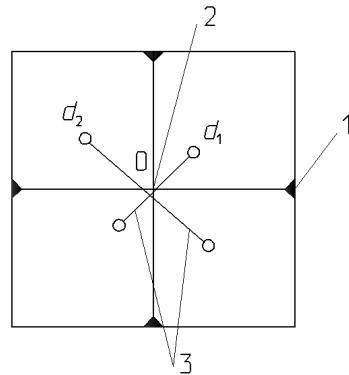


Рисунок 2 – Схема расположения отрезков на аэрофотоснимке:
1 – координатная метка; 2 – главная точка 0; 3 – отрезки

Формулы для вычисления масштаба:

$$\frac{1}{m_1} = \frac{d_1}{D_1} \quad \text{и} \quad \frac{1}{m_2} = \frac{d_2}{D_2},$$

а среднее значение:

$$\frac{1}{m_{\text{cp}}} = \frac{1}{0,5(m_1 + m_2)}.$$

Расхождения между m_1 и m_2 могут быть в пределах 300 единиц знаменателя масштаба.

Пример: $d_1 = 71,4$ мм; $D_1 = 1235$ м;

$$\frac{1}{m_1} = \frac{d_1}{D_1} = \frac{71,4 \text{ мм}}{1235000 \text{ мм}} = \frac{1}{17297}.$$

Чтобы получить дробь, в числителе которой единица, следует и числитель, и знаменатель разделить на числитель:

$$\frac{1}{m_1} = \frac{71,4 \text{ мм} : 71,4}{1235000 \text{ мм} : 71,4} = \frac{1}{17297},$$

$d_2 = 98,6$ мм; $D_2 = 1734$ м;

$$\frac{1}{m_2} = \frac{d_2}{D_2} = \frac{98,6 \text{ мм}}{1734000 \text{ мм}} = \frac{1}{17586}.$$

Средний масштаб аэроснимка:

$$\frac{1}{m_{\text{cp}}} = \frac{1}{0,5(m_1 + m_2)} = \frac{1}{0,5 \cdot (17297 + 17586)} = \frac{1}{17442}.$$

На схеме расположения базисов (см. рисунок 2) изображают координатные метки снимка, главную точку и примерное расположение отрезков, здесь же помечают их номера (d_1 и d_2) и подписывают номер аэроснимка. Схему оформляют карандашом.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

ТЕМЫ ТИПОВОЙ И РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1 Предмет геодезии. Системы координат и ориентирование. Понятие о форме и размерах Земли

Содержание геодезии. Понятие о форме и размерах Земли. Уровенная поверхность. Геоид. Референц-эллипсоид Ф.Н. Красовского. Системы координат, применяемые в геодезии: геодезические, прямоугольные, зональные и местные. Абсолютные и относительные высоты. Балтийская система.

Ориентирование направлений. Истинные и магнитные азимуты и румбы. Сближение меридианов. Дирекционные углы. Буссоли их использование. Прямая и обратная геодезические задачи в системе плоских прямоугольных координат.

Тема 2 Топографические карты и планы

План. Карта. Масштабы планов и карт. Точность масштаба. Номенклатура топографических планов и карт. Условные знаки. Основные формы рельефа местности и их изображение на картах горизонталями. Высота сечения, заложение, уклон. График заложений и пользования им.

Решение задач на топографических планах и картах. Способы измерения площадей на планах и картах. Определение площадей полярным планиметром. Точность определения площадей.

Тема 3 Измерение углов

Принцип измерения горизонтального угла. Теодолиты, их классификация и устройство. Поверки теодолитов. Установка теодолита в рабочее положение. Способы измерения горизонтальных углов. Измерение вертикальных углов теодолитами. Место нуля. Точность измерения горизонтальных углов. Понятие об электронных теодолитах и работе с ними.

Тема 4 Измерение расстояний

Виды линейных измерений. Приборы для непосредственного измерения расстояний. Компарирование мерных приборов. Вешение отрезков линии. Измерение расстояний с помощью мерных приборов. Определение неприступных расстояний. Точность линейных измерений мерными приборами. Приведение наклонных линий к горизонту. Эклиметр. Оптические дальномеры: нитяной дальномер, его устройство и точность. Светодальномеры и лазерные рулетки. Принцип действия.

Тема 5 Геодезические сети. Плановое съемочное обоснование.

Виды геодезических сетей. Методы создания геодезических, плановых сетей. Теодолитные ходы, измерение углов и сторон. Привязка ходов к опорным пунктам государственной сети.

Камеральные работы при приложении теодолитных ходов. Уравнивание углов. Вычисление и уравнивание приращений координат в замкнутом теодолитном ходе. Теодолитная съемка и ее сущность. Приборы. Способы съемки ситуации. Составление плана теодолитной съемки.

Тема 6 Высотное съёмочное обоснование. Нивелирование.

Сущность и методы нивелирования. Способы геометрического нивелирования. Влияние кривизны Земли и рефракции на превышение. Классификация и устройство нивелиров. Нивелирные рейки. Поверки нивелиров. Понятие о лазерных и электронных нивелирах. Государственная нивелирная сеть. Тригонометрическое нивелирование.

Тема 7 Топографические съёмки местности.

Виды съёмки. Выбор масштаба съёмки и высоты сечения рельефа.

Тахеометрическая съёмка, ее сущность и применяемые приборы. Порядок работы при съёмке на станции. Полевой журнал и абрис.

Камеральные работы. Обработка журнала и составления плана тахеометрической съёмки. Пути автоматизации тахеометрической съёмки. Электронные тахеометры и работа с ними.

Нивелирование поверхности. Способы нивелирования по квадратам. Разбивка сети квадратов. Нивелирование квадратов. Составление и оформление плана.

Вертикальная планировка площадки. Составление картограммы земляных работ.

Тема 8 Геодезические работы при изысканиях и проектировании автомобильных дорог.

Геодезические работы при изысканиях автомобильных дорог. Разбивка пикетажа, круговые и переходные кривые, детальная разбивка кривых.

Нивелирование трассы и поперечников. Понятие о гидрометрических работах. Нивелирование через реку, овраги. Обработка материалов нивелирования.

Составление продольного и поперечного профилей. Проектирование на профиле. Составление плана трассы, планов и профилей автомобильных дорог.

Тема 9 Фотограмметрия и спутниковые технологии.

Сущность аэрофотосъёмки и космической съёмки. Пленочные и цифровые аэрофотоаппараты. Аэроснимок – центральная проекция. Масштабы снимков, искажения на аэрофотоснимке за счет его наклона и рельефа местности. Связь между координатами точек на снимке и на местности. Трансформирование снимков, составление контурного фотоплана. Элементы стереофотограмметрии: стереопара, перекрытие снимков, продольный параллакс точек стереопары, измерение превышений по снимкам стереопары. Составление топографического плана с помощью стереоприборов.

Фототеодолитная съёмка. Лазерное сканирование местности. Компьютерная обработка цифровых снимков. Получение цифровой модели местности. Глобальные спутниковые системы GPS и «Глонасс» и их использование в геодезии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инженерная геодезия: учеб. пособие. Ч. I / Е. С. Богомолова [и др.]; под ред. В. А. Коугия. – СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2006. – 90 с.
- 2 Инженерная геодезия: учеб. пособие. Ч. II / Е. С. Богомолова [и др.]; под ред. В. А. Коугия. – СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2008. – 93 с.
- 3 **Куновская, Г. М.** Геодезия и фотограмметрия: учеб.-метод. пособие / Г. М. Куновская, И. П. Дралова. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 43 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Теодолит и работа с ним. Электронный тахеометр.....	4
Лабораторная работа № 2. Нивелир и работа с ним.....	17
Лабораторная работа № 3. Основы аэрофототопографии.....	28
Приложение А Темы типовой и рабочей программы дисциплины.....	37
Список литературы.....	39

Учебное издание

КУНОВСКАЯ Галина Михайловна
ЯКОВЦЕВА Оксана Игоревна

ГЕОДЕЗИЯ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ

Редактор *Н.А. Дашкевич*
Технический редактор *В.Н. Кучерова*

Подписано в печать 25.04.2015 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,11. Тираж 80 экз. Зак. № . Изд. № 14.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель