

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»  
Институт повышения квалификации и переподготовки кадров

Кафедра социально-гуманитарных дисциплин

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой  
*И.А. Мазурок* И.А. Мазурок

30 10 2018 г.



2018 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Геодезия и маркшейдерское дело

(название учебной дисциплины)

для специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

(код и наименование специальности)

Составитель: О.В. Шершнёв

Рассмотрено и утверждено  
на заседании научно-методического совета  
учреждения образования «Гомельский  
государственный университет  
имени Франциска Скорины» 29.12. 2018 г.,  
протокол № 3

## СОСТАВИТЕЛЬ:

О.В. Шершнёв, кандидат географических наук, доцент кафедры социально-гуманитарных дисциплин ИПК и ПК Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины

## РЕЦЕНЗЕНТЫ:

кафедра географии и природопользования УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»

А. Н. Галкин, профессор кафедры географии Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, доктор геол.-минерал. наук

## Содержание

Пояснительная записка

1 Теоретический раздел ЭУМК.

Конспект лекций «Геодезия и маркшейдерское дело»

2 Практический раздел ЭУМК

Методические рекомендации для выполнения практических работ по дисциплине «Геодезия и маркшейдерское дело»

3 Раздел контроля знаний ЭУМК

Вопросы к экзамену по дисциплине «Геодезия и маркшейдерское дело»

4 Вспомогательный раздел ЭУМК

4.1 Типовой учебный план переподготовки по специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» заочной формы получения образования

4.2 Учебная программа по дисциплине «Геодезия и маркшейдерское дело» для специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» заочной формы получения образования

4.3 Список учебных изданий рекомендуемых для изучения учебной дисциплины «Геодезия и маркшейдерское дело»

## Пояснительная записка

Современное маркшейдерское дело можно охарактеризовать как одну из важнейших отраслей горной науки и техники, занимающейся в основном геометрическими измерениями и вычислениями.

Геодезия и маркшейдерское дело относится к общепрофессиональным дисциплинам для слушателей специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Цель ее изучения состоит в получении знаний о геодезических и маркшейдерских работах, средствах измерений и математической обработке результатов этих измерений, выполняемых для различных научных и производственных задач.

В задачи ЭУМК входит:

– обеспечить слушателей специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» заочной формы обучения лекционными и практическими учебно-методическими материалами для освоения дисциплины «Геодезия и маркшейдерское дело»;

– сформировать у слушателей профессиональные компетенции в части: уметь решать задачи по топографической карте, работать с геодезическими приборами, владения методами полевых и камеральных маркшейдерско-геодезических работ.

Учебный материал представлен с учетом современных достижений геодезической науки и производства по принципу последовательного изложения основных теоретических и практических вопросов – от общих к частным.

ЭУМК составлен в соответствии с образовательным стандартом ОСРБ 1-51 02 71-2012 по специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» и учебной программой дисциплины «Геодезия и маркшейдерское дело».

ЭУМК включает разделы: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел ЭУМК включает краткий конспект лекций по всем разделам изучаемой дисциплины (включая разделы для самостоятельного изучения), в соответствии с учебной программой дисциплины «Геодезия и маркшейдерское дело». Он дает основу теоретического материала и ориентирует слушателя на вопросы для самостоятельного изучения.

Практический раздел ЭУМК содержит задания и методические рекомендации для выполнения практических работ. В конце каждой работы приводится список вопросов по тематике практической работы. Текущая форма контроля знаний осуществляется посредством защиты практических работ.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы итоговой аттестации (вопросы к зачету), позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности слушателей требованиям образовательного стандарта высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Вспомогательный раздел ЭУМК включает типовой учебный план переподготовки, учебную программу по дисциплине и перечень учебных изданий рекомендуемых для изучения учебной дисциплины.

## **1 Теоретический раздел ЭУМК**

### **Конспект лекций по дисциплине «Геодезия и маркшейдерское дело»**

Лекция 1 Общие сведения о геодезии и маркшейдерском деле

Лекция 2 Картографические материалы

Лекция 3 Системы координат, применяемые в геодезии и маркшейде-  
рии

Лекция 4 Геодезические измерения и построения

Лекция 5 Линейные измерения

Лекция 6 Угловые измерения

Лекция 7 Высотные измерения (определение превышений)

Лекция 8 Ориентирование линий

Лекция 9 Маркшейдерско-геодезические сети

Лекция 10 Геометризация нефтяных и газовых месторождений

Лекция 11 Маркшейдерское обеспечение обустройства нефтяных и га-  
зовых месторождений

Лекция 12 Маркшейдерско-геодезические съемочные работы

Лекция 13 Теодолитная съемка

Лекция 14 Техническое нивелирование

Лекция 15 Тахеометрическая съемка

## Лекция 1 Общие сведения о геодезии и маркшейдерском деле

- 1 Предмет и задачи геодезии и маркшейдерского дела
- 2 Маркшейдерская картографическая документация
- 3 Горно-графическая документация
- 4 Маркшейдерские работы при рекультивации земель

### 1 Предмет и задачи геодезии и маркшейдерского дела

**Геодезия** – это наука о методах определения фигуры и размеров Земли и изображения ее поверхности на картах и планах, а также о способах проведения различных измерений на поверхности Земли (на суше и акваториях), под землей, в околоземном пространстве и на других планетах.

К задачам геодезии относятся:

- определение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли;
- распространение единой системы координат на территорию отдельного государства, континента и всей земли в целом;
- изображение участков поверхности земли на топографических картах и планах;
- изучение глобальных смещений блоков земной коры;
- создание и внедрение ГИС;
- создание государственных и локальных кадастров: земельного, водного, лесного, городского и т.д.;
- создание цифровых и электронных карт и их банков данных и др.

**Маркшейдерия** (подземная геодезия) изучает методы проведения геодезических работ в подземных горных выработках.

Маркшейдерско-геодезические работы и графическая документация предназначены:

- 1) для решения вопросов поисков, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений и подсчета запасов нефти и газа;
- 2) проектирования и строительства горнодобывающих предприятий; охраны сооружений и природных объектов, расположенных на земной поверхности, от вредного влияния разработки месторождений нефти и газа;
- 3) обеспечения безопасности горных работ и судоходства (при обслуживании морских месторождений).

### 2 Маркшейдерская документация

Маркшейдерская документация по своему назначению и содержанию делится на три группы: первичную (полевую), вычислительную и графическую (маркшейдерские чертежи).

*Первичная документация* состоит из установленного комплекта журналов измерений, которые ведутся с необходимой полнотой и тщательностью и

выполнением обязательного полевого контроля измерений. Журналы измерений проверяются во время камеральной обработки.

В состав *вычислительной* маркшейдерской документации входят: ведомости, журналы вычислений, каталоги координат и высот пунктов геометрической основы съемок. Каталоги координат  $x$ ,  $y$  и высот  $z$  являются результатом маркшейдерских измерений, основой для составления графической документации и аналитического решения ответственных инженерных задач маркшейдерского обеспечения.

*Маркшейдерскую графическую документацию* (чертежи) по характеру построения подразделяют на *исходную* и *производную*.

На маркшейдерской картографической документации отображают:

- рельеф, гидрографию, населенные пункты и др.;
- пункты государственной геодезической сети и маркшейдерско-геодезические сети;
- скважины разведочные, добывающие и др.;
- магистральные трубопроводы;
- инженерные коммуникации (в зависимости от нагрузки плана);
- компрессорные станции и иные объекты по добыче, переработке и транспортированию нефти и газа;
- геологическую информацию (наличие геологических нарушений и особенностей, требующих учета при разработке месторождения).

При необходимости на плане можно изображать забой и горизонтальные проекции осей стволов скважин, объекты разработки.

Все текущие изменения, происшедшие на месторождениях, вносят на маркшейдерско-геодезические планы ежеквартально.

### 3 Горно-графическая документация

Горно-графическая документация ведется в государственной системе координат, с учетом принятых картографических проекций. При использовании местной системы координат выполняют работы, обеспечивающие возможность ее приведения к государственной, включая привязку не менее трех пунктов местной системы координат к государственной.

Комплект горно-графической документации включает следующие материалы (табл. 1).

Таблица 1 – Комплект горно-графической документации

Наименование графической документации	Масштаб	Содержание
1	2	3
Картограммы топографо-геодезической изученности территории деятельности предприятия в объемах, необходимых для проведения работ	1:2000000 – 1:50000	Границы изученности, пункты государственной геодезической сети



## Окончание табл. 1

Топографические карты территории деятельности предприятия	1:100000 – 1:10000	Топографическая ситуация
Планы расположения устьев и забоев скважин	1:50000 – 1:2000	Горный и геологический отводы, устья и забои скважин, топографическая ситуация
Маркшейдерско-геодезические планы разрабатываемых месторождений	1:25000 – 1:2000	Геологический и горный отводы, границы земельных участков, скважины, горные выработки, наблюдательные станции, границы сельскохозяйственных и иных угодий
Планы, схемы коммуникаций (при необходимости)	1:100000 – 1:2000	Геологический и горный отводы, границы земельных участков, скважины, горные выработки, наблюдательные станции, границы сельскохозяйственных и иных угодий
Планы промышленных объектов, промышленных зон и др.	1:2000 – 1:500	Контрольные и опорные репера для наблюдения за деформациями
Фотопланы и аэрокосмоснимки		

#### 4 Маркшейдерские работы при рекультивации земель

**Рекультивация земель** – приведение нарушенных промышленностью земель в состояние, пригодное для хозяйственного использования.

Основными задачами маркшейдерской службы при проведении рекультивации земель являются: подготовка планово-графической документации, необходимой для разработки проекта рекультивации; выполнение съемочно-замерных работ в период осуществления проекта горнотехнических работ при рекультивации и определение их объема; производство контрольных съемок, организация наблюдений за оседанием пород и составление комплекта планово-графической документации на рекультивированные участки земли, необходимого для передачи участков для использования.

На первом (подготовительном) этапе маркшейдерская служба подготавливает исходную графическую документацию (планы и вертикальные разрезы), предназначенную для составления проекта рекультивации и последующего контроля за его осуществлением.

Подготовительным этапом текущего маркшейдерского обслуживания мероприятий по рекультивации является трассировка подъездных путей, дорог, дренажных канав, электролиний и др. В зависимости от вида дальнейшего хозяйственного освоения планировка рекультивируемой территории может быть сплошной или частичной.

Масштаб планов и высота сечения рельефа должны быть следующими: для сельскохозяйственного и строительного направления – 1:1000 и 1:2000 с высотой сечения рельефа 0,5 и 1 м; для лесохозяйственного, водохозяйственного и других направлений – 1:2000 или 1:5000 с высотой сечения рельефа 1 или 2 м.

Маркшейдерская работа на последующих технологических этапах рекультивации связаны с замерами и определением вида и последовательности проведения горнотехнических работ. На всех этапах разработки залежи полезного ископаемого открытым способом при вскрыше, формировании отвалов породы, добыче и рекультивации, строгому маркшейдерскому контролю подлежит полнота съема (зачистка) и качество складирования плодородного слоя с определением его объема, так как от него, в основном, зависит плодородие рекультивируемых земель.

## Лекция 2 Картографические материалы

1 Классификация картографических материалов

2 План и карта

3 Масштабы

4 Разграфка и номенклатура карт

5 Условные знаки планов и карт

### 1 Классификация картографических материалов

Картографические материалы классифицируют по содержанию и по степени их использования. По содержанию различают:

– материалы планового и высотного обоснования (каталоги и списки геодезических и астрономических пунктов);

– графические материалы (карты и планы различных масштабов – оттиски и оригиналы всех видов);

– аэрофотосъемочные материалы (аэроснимки, фотосхемы и фотопланы);

– литературно-справочные материалы (различные описания местности, справочники административно-территориального деления и т.п.).

По степени использования при составлении карт, которая устанавливается в результате их изучения, картографические материалы подразделяются на *основные, дополнительные и справочные*.

### 2 План и карта

**Планом** называется чертеж, дающий в уменьшенном и подобном виде изображение горизонтальной проекции небольшого участка местности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается.

На плане могут изображаться *ситуация и рельеф*.

**Ситуацией местности** называется совокупность контуров и неподвижных местных предметов. Ситуация на плане представляет собой горизонтальную проекцию контуров и отдельных предметов местности. В геодезии часто используется термин «плановая съемка» применительно к понятию «съемка ситуации».

**Рельефом** называется совокупность неровностей земной поверхности естественного происхождения.

Если на плане изображается только ситуация, то такой план называется **ситуационным**, или **контурным**. Если кроме ситуации на плане изображается рельеф, то такой план называется **топографическим**.

Имея топографический план, можно составить профиль, т.е. изображение вертикального разреза местности по заданному направлению. Профиль характеризует рельеф по линии местности. План и профиль служат ос-

новными исходными документами при проектировании и строительстве инженерных сооружений.

При изображении значительных территорий земной поверхности возникает необходимость учета кривизны Земли. Уменьшенное и искаженное из-за кривизны Земли изображение значительных территорий земной поверхности на плоскости, построенное в определенной картографической проекции, называется **картой**. При построении карты на плоскости бумаги наносится картографическая сетка, т.е. сетка меридианов и параллелей, которая служит основой для нанесения ситуации местности.

Крупномасштабные карты называются топографическими и составляются по результатам топографических съемок территорий. Топографические карты имеют многоцелевое назначение и характеризуются детальностью изображения всех элементов местности. Этим они отличаются от карт специального назначения, на которых особо выделяется один или несколько элементов (административные, почвенные, геологические и т. п.), тогда как остальные элементы представлены схематично либо вообще отсутствуют.

### 3 Масштабы

**Масштаб** – степень уменьшения горизонтальных проекций линий местности при изображении их на плане или карте. Таким образом, масштаб – это отношение длины отрезка на плане  $d_{пл}$  или карте к горизонтальной проекции соответствующего отрезка  $d_M$  на местности, т. е.  $d_{пл}/d_M$ . Различают *численный* и *графические масштабы*; к последним относятся *линейный* и *поперечный* масштабы.

**Численный масштаб** – это дробь, числитель которой единица, а знаменатель – число, показывающее, во сколько раз горизонтальные проекции линий местности уменьшены на плане или карте.

**Линейный масштаб** – графическое изображение численного масштаба в виде прямой линии с делениями для отсчета расстояний.

Поперечный масштаб является разновидностью линейного масштаба.

При проектировании горных предприятий и в маркшейдерско-геодезических работах используют топографические планы, а также специальные маркшейдерские чертежи, которые составляют в масштабах 1 : 200; 1 : 500; 1 : 1000; 1 : 2000; 1 : 5000.

### 4 Разграфка и номенклатура карт

Топографические карты, как правило, являются многолистными. Каждый лист карты ограничен меридианами и параллелями, протяженность которых зависит от масштаба карты. При использовании многолистных карт

разных масштабов необходима система учета отдельных листов карт для быстрого их нахождения. Система обозначения (нумерации) отдельных листов многолистной карты называется **номенклатурой**.

В основу номенклатуры карт различных масштабов положена международная разграфка карты масштаба 1:1 000 000. Для получения одного листа карты этого масштаба весь земной шар делят меридианами от Гринвичского меридиана через  $6^\circ$  по долготу на 60 колонн, которые нумеруются арабскими цифрами на восток от  $180^\circ$ -градусного меридиана. Поэтому номер колонн отличается от номера  $6^\circ$ -й зоны на 30. Каждая колонна делится параллелями через  $4^\circ$  по широте на ряды, обозначаемые прописными буквами латинского алфавита, к северу и югу от экватора. Таким образом, вся поверхность земного шара изображается на 2640 листах.

Деление листа карты одного масштаба на листы карты более крупного масштаба называется **разграфкой** карты. Разграфка листа карты на части предусматривает получение листов карт различных масштабов примерно одинаковых размеров.

## 5 Условные знаки планов и карт

Все элементы местности по пространственной протяженности разделяют на две группы: местные предметы или *ситуация* и формы поверхности Земли или *рельеф местности*. Каждая из групп изображается на картах принятыми условными знаками.

**Условные знаки** – это обозначения, применяемые на топографических (географических) картах или планах для изображения различных объектов местности и определения их качественных и количественных характеристик.

Условные знаки, изображающие ситуацию местности, подразделяются на *площадные, внемасштабные, линейные и пояснительные*.

**Площадные**, или **масштабные** условные знаки служат для изображения объектов, занимающих значительную площадь и выражающихся в масштабе карты или плана.

**Внемасштабными** называются такие условные знаки, которыми предметы местности изображаются без соблюдения масштаба карты или плана (например, отдельное дерево, километровый столб, колодец и т.д.).

**Линейными условными знаками** называются знаки, изображающие протяженные объекты на местности, например железные дороги, ручьи, границы и другие.

**Пояснительные условные знаки** служат для дополнительной характеристики изображаемых на карте местных предметов, например: длина, ширина и грузоподъемность моста, ширина и характер покрытия дорог, средняя толщина и высота деревьев в лесу и т.д.

## Лекция 3 Системы координат, применяемые в геодезии и маркшейдерии

- 1 Пространственные системы координат
- 2 Системы координат на плоскости
- 3 Прямая и обратная геодезические задачи
- 4 Высотные координаты (превышения)

### 1 Пространственные системы координат

**Координаты** – это величины, определяющие положение любой точки на поверхности или в пространстве относительно принятой системы координат.

**Система координат** устанавливает начальные (исходные) точки, поверхности или линии отсчета необходимых величин – начало отсчета координат, единицы их исчисления.

Географическая система координат объединяет под общим названием две системы: *астрономическую и геодезическую*. В астрономической системе координаты точек определяются относительно направлений отвесных линий в точках земной поверхности, а в геодезической – относительно нормалей к референц-эллипсоиду.

**Геодезической широтой** ( $B$ ) называется угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора. Широта измеряется дугой геодезического меридиана  $A_0A'$  от экватора до данной точки и в зависимости от полушария может быть северной (+) или южной (–); ее величина изменяется от  $0^\circ$  (на экваторе) до  $\pm 90^\circ$  (на полюсах).

**Геодезической долготой** ( $L$ ) называется двугранный угол, составленный плоскостями начального меридиана и геодезического меридиана данной точки. Долгота измеряется дугой экватора либо дугой параллели от Гринвичского меридиана до меридиана данной точки. Она изменяется от  $0^\circ$  до  $\pm 180^\circ$  и может быть западной (–) или восточной (+).

В *пространственной полярной системе координат* основными элементами являются: горизонтальная плоскость  $Q$ ; отвесная линия  $Z_1Z_2$ , служащая осью; начальное положение  $P_0$  вертикальной плоскости  $P$ ; начальное положение  $r_0$  подвижного радиус-вектора  $r$ ; точка  $O$  – центр системы координат.

### 2 Системы координат на плоскости

**Плоская условная система прямоугольных координат.** Если размеры участка земной поверхности позволяют не принимать во внимание сферичность Земли, то при производстве геодезических работ часто применяется

условная (местная) система плоских прямоугольных координат, начало которой выбирается произвольно.

Элементами данной системы координат являются: ось  $O_x$ , направление которой принимается параллельным истинному, магнитному или осевому меридиану зоны либо произвольным; ось  $O_y$ , перпендикулярная к оси  $O_x$ ; точка  $O$  – начало координат.

Осями координат горизонтальная плоскость делится на четыре четверти. Положение любой точки на плоскости в данной системе определяется координатами  $x, y$ ; их знаки зависят от четверти, в которой находится точка.

**Зональная система плоских прямоугольных координат.** В общегосударственной системе плоских прямоугольных координат положение точек земной поверхности определяется прямоугольными координатами  $x, y$  на плоскости, на которую они проектируются по закону равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса – Крюгера.

Сущность проекции Гаусса – Крюгера заключается в следующем. Земной эллипсоид делится меридианами через  $6^\circ$  по долготе на 60 зон, простирающихся от полюса до полюса.

Нумерация зон ведется с запада на восток от Гринвичского меридиана, который является западной границей первой зоны. Средний меридиан каждой зоны называется **осевым**.

Поверхность каждой зоны в отдельности проектируется на плоскость; при этом вся зона переходит с эллипсоида на плоскость в несколько расширенном виде.

В результате такого проектирования получают изображение поверхности земного шара (эллипсоида) в виде шестидесяти зон, примыкающих друг к другу на экваторе. Каждая из этих зон имеет прямоугольную систему координат со своим началом координат – точкой пересечения экватора с осевым меридианом зоны.

Для удобства измерения прямоугольных координат при решении практических задач на планах и картах наносят **координатную сетку**, которая представляет собой систему линий, проведенных через определенное расстояние параллельно осевому меридиану зоны (оси  $x$ ) и экватору (оси  $y$ ).

**Система плоских полярных координат.** Элементами данной системы координат являются: 1) полярная ось  $O_x$ ; за ось  $O_x$  может приниматься любое направление, например сторона теодолитного хода; 2) точка  $O$  – начало координат (полюс), принимается произвольно; полюсом может быть любая точка, в том числе и вершина теодолитного хода.

Положение точек на плоскости в рассматриваемой системе определяется двумя координатами: горизонтальным углом  $\beta$  между полярной осью и направлением на определяемую точку; горизонтальным расстоянием  $d$  от полюса до определяемой точки.

**Система биполярных координат** представляет собой два выбранных неподвижных полюса  $O_1$  и  $O_2$ , соединенные прямой – полярной осью. Данная система координат позволяет определить положение точки  $M$  относительно полярной оси на плоскости при помощи двух углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , двух радиусов-

векторов  $r_1$  и  $r_2$  или их комбинаций. Если известны прямоугольные координаты точек  $O_1$  и  $O_2$ , то положение точки  $M$  можно вычислить аналитическим способом.

### 3 Прямая и обратная геодезические задачи

Чтобы связать воедино полярные системы отдельных точек местности, необходимо перейти к определению положения последних в прямоугольной системе координат, которая может быть распространена на значительно большую по площади территорию. Связь между двумя системами устанавливается решением прямой и обратной геодезических задач.

*Прямая геодезическая задача* состоит в определении координат конечной точки линии по длине ее горизонтального проложения, направлению и координатам начальной точки.

Разности координат конечной и начальной точек линии называют **приращениями координат**.

*Обратная геодезическая задача заключается* в определении длины горизонтального проложения и направления линии по данным координатам ее начальной и конечной точек. Угол направления вычисляется по катетам прямоугольного треугольника.

### 4 Высотные координаты (превышения)

В геодезии и маркшейдерско-геодезических работах высотные координаты (высоты) точек определяют над исходной уровенной поверхностью. Расстояние по отвесной линии от уровенной поверхности до точки физической поверхности Земли называется **высотой** ( $H$ ). Высоты бывают **абсолютные**, если их отсчет ведется от уровенной поверхности, принятой за основную, и **условные (относительные)**, если их отсчет ведется от произвольной уровенной поверхности, параллельной основной поверхности (см. рисунок 2). Обычно за начало отсчета абсолютных высот принимают уровень океана или открытого моря в спокойном состоянии.

На территории России и в Республике Беларусь основная уровенная поверхность совпадает со средним уровнем Балтийского моря в Финском заливе. Поэтому систему высот называют Балтийской. Численные значения высот именуют также отметками и выражают в метрах.

Разность высот двух точек называется **превышением** ( $h$ ), которое представляет расстояние между уровенными поверхностями, проходящими через две данные точки с соответствующими отметками.



## Лекция 4 Геодезические измерения и построения

- 1 Виды геодезических измерений
- 2 Геодезические способы построения
- 3 Погрешности измерений

### 1 Виды геодезических измерений

Под *измерениями* понимают процесс сравнения какой-либо величины с другой однородной величиной, принимаемой за единицу. Все геодезические измерения сводятся в основном к трем видам:

- линейные – определяются расстояния между заданными точками;
- угловые – определяются значения горизонтальных и вертикальных углов между направлениями на заданные точки;
- высотные (нивелирование) – определяются разности высот отдельных точек.

Измерения называют *прямыми*, если их выполняют с помощью приборов, позволяющих непосредственно сравнить измеряемую величину с величиной, принятой за единицу, и *косвенными*, когда искомую величину получают путем вычислений на основе результатов прямых измерений. Так, угол в треугольнике можно непосредственно измерить угломерным прибором (прямое измерение) или вычислить по результатам измерения трех сторон треугольника (косвенное измерение).

Обозначенные на местности точки, от которых выполняют геодезические измерения, называются *исходными*. Точки, положение которых на местности необходимо определить, называют *определяемыми*.

### 2 Геодезические способы построения

Существует шесть основных геодезических способов построения, применяемых для определения положения точки в плане. Эти построения выполняют, если расстояния между точками сравнительно невелики и есть непосредственная видимость между исходными и определяемыми точками.

Способы построения, применяемые для определения положения точки в плане: *перпендикуляров (ординат), полярных координат, прямой угловой засечки, боковой засечки, линейной засечки, створной засечки*.

### 3 Погрешности измерений

Любая погрешность результата измерения является следствием действия многих факторов, каждый из которых порождает свою погрешность. Погрешности, происходящие от отдельных факторов, называют *элементар-*

**ными.** Погрешности результата измерения являются алгебраической суммой элементарных погрешностей.

Погрешности измерений разделяют по двум признакам: характеру их действия и источнику происхождения.

*По характеру действия* погрешности бывают *грубые, систематические* и *случайные*.

*По источнику происхождения* различают: *погрешности приборов, внешние* и *личные*.

## Лекция 5 Линейные измерения

1 Механические приборы для измерения расстояний. Определение неприступных расстояний

2 Оптические дальномеры

3 Светодальномеры

### 1 Механические приборы для измерения расстояний. Определение неприступных расстояний

Целью линейных измерений является определение горизонтальных расстояний (проложений) между точками местности. Длины линий местности в геодезии измеряют *непосредственным* либо *косвенным* способами.

**Непосредственный способ** основан на непосредственном измерении линий местности механическими линейными приборами, к которым относятся *землемерные ленты* и *рулетки*.

При *косвенном способе* длина линии определяется как функция установленных геометрических или физических соотношений.

**Определение неприступных расстояний тригонометрическими способами.** При измерении расстояний между точками, которые разделены препятствием (река, водоем, овраг и др.), превышающим длину механического мерного прибора (ленты), неприступные расстояния определяют различными тригонометрическими (косвенными) способами (если нет достаточно точного дальномера).

К косвенным способам измерения расстояний относятся: *параллактический*, *прямой угловой засечки* и *обхода*.

### 2 Оптические дальномеры

**Оптические дальномеры** – это геодезические приборы, позволяющие определять горизонтальные и наклонные расстояния косвенным методом. При этом в основу определения расстояний положено решение равнобедренного (или прямоугольного) треугольника, имеющего одну короткую сторону.

Острый угол ( $\varphi$ ) такого треугольника называется **параллактическим**, а противолежащая сторона  $b$  – **базисом**. Расстояние  $D$  определяется решением параллактического треугольника.

Конструкциями оптических дальномеров предусматривается, что одна из величин (угол  $\varepsilon$  или базис  $b$ ) является постоянной, а вторая – переменной величиной, подлежащей измерению. В зависимости от этого различают два типа оптических дальномеров: *с постоянным базисом* и *с постоянным параллактическим углом*.

В зрительной трубе теодолита и нивелира верхняя и нижняя горизонтальные нити и визирной сетки образуют *нитяной дальномер* с вертикальным постоянным параллактическим углом  $\varphi$ .

### 3 Светодальномеры

**Светодальномер** – прибор, измеряющий расстояние по времени прохождения его световым сигналом.

В комплект светодальномера входят приемопередатчик (источник лазерного излучения) и отражатель. Приемопередатчик устанавливают на штативе на одном конце измеряемой линии, а отражатель на специальной вешке или на штативе – на другом.

Приемопередатчик излучает световой сигнал, принимает его после возвращения от отражателя, измеряет время, прошедшее от излучения до приема, и вычисляет расстояние.

Различают светодальномеры *импульсные* и *фазовые*.

В *импульсном светодальномере* лазерный источник излучения под воздействием генератора импульсов периодически посылает через объектив световой импульс.

Точность импульсных светодальномеров характеризуется метрами и долями метра.

В *фазовых светодальномерах* лазерное излучение модулируется по амплитуде или интенсивности либо изменением частоты модуляции гармоническим управляющим сигналом с определенной частотой.

В длину измеренной линии вводят поправки за счет отклонений температуры, давления и влажности воздушной среды от стандартных показателей, а также поправку на наклон.

**Светотражатели** бывают призмные и пленочные. Основным элементом призмного отражателя является стеклянная трипельпризма отражающая световые лучи в тех направлениях, откуда они пришли. Для увеличения дальности измерений существуют многопризмные отражатели.

Существуют светодальномеры, использующие диффузное отражение сигнала от предметов и не требующие отражателя. Таким дальномером является «*лазерная рулетка*».

В геодезических работах также используются светодальномеры, входящие составной частью в электронный теодолит или тахеометр.

## Лекция 6 Угловые измерения

- 1 Принцип измерения горизонтальных углов
- 2 Принцип измерения вертикальных углов
- 3 Теодолиты

### 1 Принцип измерения горизонтальных углов

Если на местности требуется измерить угол между двумя направлениями, то обычно два пункта визирования не находятся в горизонтальной плоскости, проходящей через точку стояния прибора. В геодезии же используются горизонтальные углы, представляющие собой проекции углов на горизонтальную плоскость.

Пусть на местности имеются точки  $A$ ,  $B$  и  $C$ , расположенные на разных высотах. Необходимо измерить горизонтальный угол при вершине  $B$ . Горизонтальный угол  $ABC$  между наклонными прямыми  $BA$  и  $BC$ , исходящими из вершины  $B$ , расположенной на отвесной линии  $BM$ , измеряют как двугранный угол  $\beta = abc$  между пересекающимися по  $BM$  вертикальными плоскостями  $BbaA$  и  $BbcC$  (рисунок 1). Прямые  $ba$  и  $bc$  представляют проекции линий  $BA$  и  $BC$  на горизонтальную плоскость  $P$ .

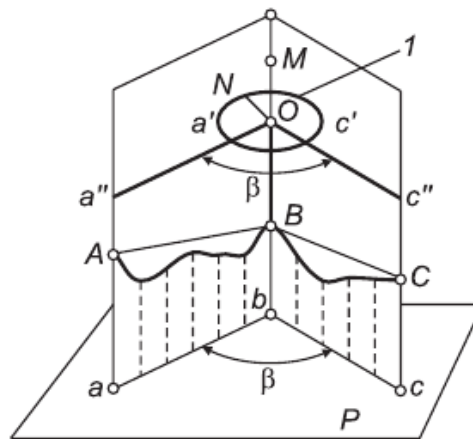


Рисунок 1 – Принцип измерения горизонтального угла  
 $P$  – горизонтальная плоскость; 1 – горизонтальный угломерный круг.

Горизонтальный угол измеряют по угломерному кругу (1) с кольцом градусных делений, который называется лимбом, центр которого  $O$  совмещают с отвесной линией  $MB$ . Плоскость круга горизонтальна, ее пересекают отвесные плоскости по радиусам  $Oa'a''$  и  $Oc'c''$ , образующим стороны горизонтального угла  $\beta$ . Если  $ON$  – радиус начального (нулевого) градусного деления, а счет делений возрастает по ходу часовой стрелки, причем  $c'$  и  $a'$  – отсчеты градусных делений по радиусам  $Oc'$  и  $Oa'$ , то угол  $\beta = a' - c'$ .

Изложенный геометрический принцип измерения горизонтального угла положен в конструкцию угломерного прибора – *теодолита*.

## 2 Принцип измерения вертикальных углов

Вертикальные углы лежат в вертикальной плоскости, их измеряют по вертикальному угломерному кругу теодолита (*I*) (рисунок 2).

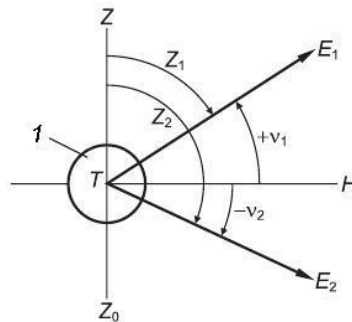


Рисунок 2 – Принцип измерения вертикального угла  
 $ZZ_0$  – отвесная линия;  $TH$  – горизонтальная линия;  $I$  – вертикальный угломерный круг.

Кольцо его градусных делений расположено в вертикальной плоскости, а центр кольца совпадает с горизонтальной осью  $T$  вращения вертикально круга. Вертикальный угол, отсчитанный от зенитного направления  $Z$  отвесной линии  $ZZ_0$ , называется **зенитным углом** или **зенитным расстоянием** (углы  $Z_1$  и  $Z_2$ ). Вертикальный угол, отсчитанный от горизонтальной линии  $TH$ , называется **углом наклона**  $v$ . Он будет положительным, если направление наклона выше горизонта ( $+v$ ) и отрицательным, если ниже ( $-v$ ).

**Место нуля вертикального круга (МО)** – это величина отсчета по вертикальному кругу теодолита при горизонтальном положении осей: визирной оси зрительной трубы и оси цилиндрического уровня на алидаде вертикального круга.

## 3 Теодолиты

**Теодолит** – это геодезический прибор, предназначенный для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов, а также магнитных азимутов направлений и расстояний по нитяному дальномеру.

В теодолите горизонтальный и вертикальный угломерные круги установлены соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

На поверхности угломерных кругов нанесены круговая шкала градусных делений, образующих лимб – рабочую меру угломерного круга. На горизонтальном круге деления лимба оцифровывают через  $1^\circ$  или  $10^\circ$  по ходу часовой стрелки от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . На вертикальном круге деления лимба оцифровывают либо от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , либо от  $0^\circ$  до  $\pm 90^\circ$  (секторная оцифровка). Угло-

вую величину дуги, равную одному делению, называют ценой деления лимба, ее величина обычно равна 5', 10', 20', 30' или 1°. Для оценки дробных долей деления лимба служат отсчетные устройства – верньеры и микроскопы.

В окуляре объектива зрительной трубы отображается визирная сетка, которая выгравирована на стеклянной пластинке. Основные штрихи сетки взаимно перпендикулярны, они предназначены для наведения зрительной трубы на объект в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Кроме основных штрихов, имеются крайние горизонтальные *дальномерные штрихи*, предназначенные для определения расстояний по рейке. Для повышения точности визирования половину вертикальной линии сетки нитей наносят в виде близко расположенных параллельных штрихов, называемых *биссектором*.

Для автоматизации угловых измерений применяются *электронные (цифровые) теодолиты*. При их использовании роль наблюдателя сводится к визированию на наблюдаемые цели, анализу и оценке точности измерений.

Отличительной особенностью электронного теодолита является наличие в его конструкции цифрового преобразователя угла в цифровой код. В основу кода положена двоичная система счисления.

**Лазерным** называется теодолит, в котором параллельно визирной оси зрительной трубы либо вдоль этой оси направлен узкий пучок лазерного излучения.

Каждый геодезический прибор, находящийся в эксплуатации, подвергается обязательной ежегодной метрологической аттестации в учреждении метрологического надзора. Кроме этого работник, действующий с прибором, обязан выполнять периодически его основные *поверки* и при возможности необходимые *юстировки* (регулировки).

## Лекция 7 Высотные измерения (определение превышений)

- 1 Приборы для измерения превышений
- 2 Сущность и способы геометрического нивелирования
- 3 Тригонометрическое нивелирование

### 1 Приборы для измерения превышений

Для измерения превышений геометрическим способом (относительно горизонтального луча), используемые приборы можно разделить на две группы:

- нивелиры оптико-механические и лазерные неавтоматизированные, причем по принципу горизонтирования визирного луча такие нивелиры представлены двумя подгруппами – нивелиры с цилиндрическим уровнем и нивелиры с компенсатором;

- нивелиры автоматизированные – лазерные, электронные (цифровые).

Для нивелирования иными способами используются электронные тахеометры (тригонометрическое нивелирование), спутниковые геодезические приемники (спутниковое нивелирование), электронные наземные и воздушные сканеры для пространственных съемок, радио- и сканерные высотомеры.

В нивелирах с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе для горизонтирования визирного луча пузырек уровня необходимо приводить в нуль-пункт. В нивелирах с компенсатором визирный луч автоматически удерживается в горизонтальном положении при небольших наклонах прибора.

Электронные (цифровые) нивелиры обеспечивают автоматизацию нивелирных работ. Для них существуют специальные нивелирные рейки, на которые нанесены штрих-кодовые шкалы.

При наведении трубы на рейку положение линии визирования относительно штрихов кодовой шкалы обрабатывается в приемном электронно-вычислительном модуле с высокой точностью (до 0,1–0,01 мм). Погрешность превышения на 1 км двойного хода высокоточных цифровых нивелиров составляет  $\pm 0,3$  мм, а в приборах, используемых для инженерно-технических – 1–1,5 мм на 1 км двойного хода.

**Нивелирные рейки** используются в комплекте с нивелирами при определении превышений.

Нивелирные рейки могут иметь штрих-кодovou шкалу для электронных измерений, либо – метрическую для выполнения оптических измерений. Рейки могут быть складными и раздвижными (телескопическими). Они могут изготавливаться деревянными, либо облегченными металлическими (из сплава алюминия). Длина реек может составлять 3, 4 и 5 м. Все рейки для высокоточного и точного нивелирования оснащены круглым уровнем для контроля их установки в вертикальное положение.



## 2 Сущность и способы геометрического нивелирования

**Нивелирование** – это измерение превышений и определение высотных координат точек на земной и водных поверхностях, точек наземных и подземных сооружений.

В геодезии применяются следующие виды нивелирования: *геометрическое; тригонометрическое; спутниковое; гидростатическое; механическое.*

Существует два способа геометрического нивелирования – из *середины* и *вперед*.

При нивелировании *способом из середины* нивелир устанавливают на равных расстояниях от измеряемых точек, на которые ставят нивелирные рейки. Визируют зрительной трубой на шкалу рейки в первой точке и берут отсчет  $a$ , равный высоте визирного луча над этой точкой, а по шкале рейки, установленной на второй точке – отсчет  $b$ , равный высоте визирного луча над этой точкой. Превышение одной точки над другой – это расстояние  $h$  между уровнями поверхностями, проходящими через данные точки, превышение равно разности отсчетов по рейкам:

$$h = a - b$$

При *нивелировании вперед* нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы прилегал к рейке, поставленной вертикально на первую точку. Отсчет  $i$  по шкале рейки относительно центра окуляра называется **высотой прибора** над этой точкой. Затем визируют на рейку на второй точке, берут отсчет  $b$  и вычисляют превышение:

$$h = i - b$$

*Нивелирный ход* применяют для измерения по частям превышения между соответствующими точками, разделенными значительным расстоянием или превышением.

Высота визирной оси нивелира над исходной уровенной поверхностью называется **горизонтом прибора** (ГП) или горизонтом нивелира.

## 3 Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование между двумя пунктами  $A$  и  $B$  включает измерение расстояния и угла наклона между ними с последующим вычислением превышения  $h$  по тригонометрическим формулам (рисунок 3). Над пунктом  $A$  ставят электронный тахеометр или теодолит, на пункт  $B$  – рейку или вежу. На рейке или веже отмечают точку визирования  $W$  и измеряют высоту визирования (высоту вежи)  $v$  – превышение  $WB$ . Над пунктом  $A$  измеряют высоту прибора  $i$  (превышение  $JA$ ). Прибором измеряют угол наклона  $\nu$

линии  $JW$ . Наклонное расстояние  $JW = D$  определяют, например, светодальномером или оптическим дальномером.

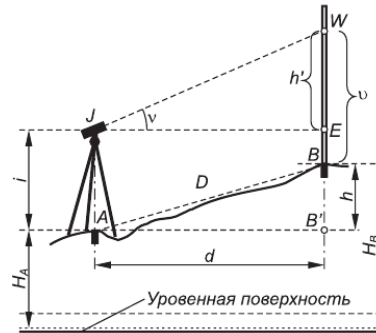


Рисунок 3 – Тригонометрическое нивелирование

Из треугольника  $JWE$  вычисляют неполное превышение  $EW = h'$ . Вертикальный отрезок  $WB' = h + v = h' + i$ , откуда искомое полное превышение:

$$h = h' + i - v$$

$$h_1 + h_2 - v_2 = v_1 + D_1 \sin v_1 + D_2 \sin v_2 - v_2 \quad (31)$$

## Лекция 8 Ориентирование линий

- 1 Ориентирование по географическому меридиану точки
- 2 Ориентирование по осевому меридиану зоны
- 3 Ориентирование по магнитному меридиану точки
- 4 Румбы линий

### 1 Ориентирование по географическому меридиану точки

**Ориентировать линию** – значит определить ее направление относительно выбранного начального направления. Направление определяется величиной ориентирного угла, то есть, угла между начальным направлением и направлением линии.

В геодезии за начальное направление принимают:

- географический меридиан точки,
- осевой меридиан зоны,
- магнитный меридиан точки.

**Географическим азимутом** называется угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана точки до направления линии; он обозначается буквой *A*. Направление географического меридиана получают из астрономических наблюдений. Пределы изменения географического азимута от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Азимут прямой линии в разных ее точках имеет разные значения, так как меридианы на поверхности сферы непараллельны между собой.

Различают восточное (положительное) и западное (отрицательное) сближение меридианов. Если конечная точка линии находится к востоку от начальной, то сближение меридианов будет восточным и положительным; если конечная точка линии лежит к западу от начальной, то сближение меридианов будет западным и отрицательным.

### 2 Ориентирование по осевому меридиану зоны

**Дирекционным углом линии** называется угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны до направления линии; он обозначается буквой  $\alpha$ . Пределы изменения дирекционного угла от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Поскольку направление осевого меридиана для зоны одно, то дирекционный угол прямой линии одинаков в разных ее точках, а обратный дирекционный угол прямой линии отличается от прямого на  $180^\circ$ .

### 3 Ориентирование по магнитному меридиану точки

**Магнитным азимутом** называется угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана точки до направления линии; он обозначается буквой  $A_M$ . Пределы изменения магнитного азимута от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Угол между географическим и магнитным меридианом называется **склонением магнитной стрелки** и обозначается буквой  $\delta$ . Если северный конец магнитной стрелки отклоняется к востоку от географического меридиана, то склонение считается восточным и положительным; если к западу, – то западным и отрицательным.

Для того чтобы перейти к магнитному азимуту от дирекционного угла необходимо знать две величины – склонение магнитной стрелки и сближение меридианов. Данные об этих величинах в виде графика и текста помещаются под южной рамкой топографической карты.

Магнитный азимут равен разности дирекционного угла и поправки направления.

Поправка направления  $\Pi$  – это угол между магнитным меридианом и северным направлением оси абсцисс.

### 4 Румбы линий

**Румб** – это острый угол от ближайшего направления меридиана до направления линии; он обозначается буквой  $r$ . Пределы изменения румба от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Название румба зависит от названия меридиана: географический, магнитный и дирекционный (или осевой).

Для однозначного определения направления по значению румба он сопровождается названием четверти: 1 четверть – СВ, 2 четверть – ЮВ, 3 четверть – ЮЗ, 4 четверть – СЗ.

Связь румба с соответствующим азимутом: 1 четверть  $r_1 = A_1$ ;  $A_1 = r_1$ ; 2 четверть  $r_2 = 180^\circ - A_2$ ;  $A_2 = 180^\circ - r_2$ ; 3 четверть  $r_3 = A_3 - 180^\circ$ ;  $A_3 = 180^\circ + r_3$ ; 4 четверть  $r_4 = 360^\circ - A_4$ ;  $A_4 = 360^\circ - r_4$ .

## Лекция 9 Маркшейдерско-геодезические сети

- 1 Виды геодезических сетей. Геодезические знаки и центры пунктов
- 2 Геометрические методы создания государственных геодезических сетей
- 3 Сети сгущения, съёмочные сети и съёмочное геодезическое (маркшейдерско-геодезическое) обоснование

### 1 Виды геодезических сетей. Геодезические знаки и центры пунктов

Геодезические сети подразделяются:

- по виду определяемых координат – *плановые* и *высотные*;
- геометрическому виду построения – *триангуляция*, *полигонометрия*, *трилатерация* и их сочетания;
- назначению – *государственные*, *сети сгущения* и *сети съёмочного обоснования*, *сети специального назначения*.

Государственная геодезическая сеть создается для распространения на всю территорию страны единой системы плановых координат и высот. Эта сеть представлена геодезическими пунктами, закрепленными на местности.

Плановые координаты пунктов государственных геодезических сетей в прошлом определялись методами триангуляции и полигонометрии, в некоторых случаях методом трилатерации. В настоящее время координаты существующих геодезических пунктов уточняются, а новых пунктов определяют при помощи спутниковых геодезических приборов. Применяются также методы триангуляции и полигонометрии.

### 2 Геометрические методы создания государственных геодезических сетей

**Метод триангуляции** состоит в том, что в вершинах всех треугольных фигур, образованных пунктами сети, измеряют горизонтальные углы, а длины сторон, называемых *базисными*, измеряют только в нескольких треугольниках. Длины остальных сторон вычисляют по тригонометрическим формулам, находят дирекционные углы сторон и определяют координаты пунктов.

**Трилатерация** – метод построения геодезических сетей в виде треугольных фигур, в которых измеряются только их стороны (расстояния между центрами геодезических пунктов), а углы между сторонами вычисляют. Находит ограниченное применение.

**Метод полигонометрии** основан на построении геодезической сети, состоящей из ломаных линий, называемых ходами, вершины которых закреплены геодезическими пунктами. Измеряются длины сторон хода и горизонтальные углы между ними. Полигонометрические ходы опираются на пункты триангуляции, относительно которых вычисляются плановые коор-

динаты пунктов хода, а их высотные координаты определяются нивелированием.

Государственные геодезические сети 1-го и 2-го классов в прошлом были наиболее точными, расстояния между их пунктами составляют 7–25 км. Увеличение количества опорных геодезических пунктов внутри сетей 1-го и 2-го классов выполнялось развитием сетей триангуляции 3-го класса (длина сторон 5–8 км) и 4-го класса (длина сторон 2–5 км). Погрешности расстояний между соседними пунктами составили 5–15 см (в относительной мере от 1:300 000 до 1:25 000).

**Государственные нивелирные сети** I, II, III и IV классов на местности закреплены постоянными знаками – реперами, которые закладывают или в грунт (грунтовые реперы), или в стены капитальных зданий и сооружений (стенные реперы). Высотная координата (отметка) репера в прошлом определялась только наземными способами нивелирования (измерения превышений), которые по точности подразделяются на нивелирование I, II, III и IV классов. Погрешности нивелирования в прямом и обратном направлениях, т.е. нивелирования двойным ходом, соответственно характеризуются величинами 0,5; 2; 4 и 8 мм на 1 км нивелирной линии, допустимые невязки превышений определяются соответственно классу нивелирования величинами:  $3\sqrt{L}$ ,  $5\sqrt{L}$ ,  $10\sqrt{L}$ ,  $20\sqrt{L}$ , мм, где  $L$  – длина хода, км.

### **3 Сети сгущения, съёмочные сети и съёмочное геодезическое (маркшейдерско-геодезическое) обоснование**

Сети сгущения необходимы для увеличения количества опорных пунктов на территории строительства или горного предприятия при геодезическом обеспечении съёмочных, строительных или горных работ. Сети сгущения создаются относительно пунктов более высокого класса точности методами триангуляции или полигонометрии. Дополнительные пункты сетей сгущения определяются различными способами: триангуляционным, прямой или обратной угловыми засечками и др.

**Съёмочное геодезическое (маркшейдерско-геодезическое) обоснование** предназначено для координатной привязки в плане и по высоте материалов топографических съёмок, изыскательских, инженерно-геодезических и маркшейдерских работ. Съёмочное обоснование развиваются внутри сетей сгущения. Пункты съёмочного обоснования выбирают с учетом технологии предстоящих съёмочных и изыскательских работ и закрепляют постоянными знаками или временными знаками (деревянными кольями).

Координаты пунктов съёмочного обоснования определяют теодолитными ходами, микротриангуляцией и различными засечками, причем углы в треугольных фигурах не должны быть меньше 30 и не больше 150°, а длина их сторон не больше 150–250 м.

## Лекция 10 Геометризация нефтяных и газовых месторождений

- 1 Оформление горных и земельных отводов
- 2 Сущность и этапы геометризации
- 3 Построение структурной карты месторождения

### 1 Оформление горных и земельных отводов

Начало разработки месторождений допускается только при наличии оформленного в соответствии с Кодексом Республики Беларусь о недрах, Инструкциями [РД 07-192-98, РД 07-122-96] горного отвода и отвода земельного участка. Согласно Кодексу Республики Беларусь о недрах **горным отводом** называется участок недр, предоставляемый недропользователю для добычи полезных ископаемых, использования геотермальных ресурсов недр, строительства и (или) эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых. В соответствии с РД 07-122-96 горный отвод предоставляется пользователю недр для разработки месторождений нефти, газа и теплоэнергетических вод, а также эксплуатации подземных хранилищ газа и продуктов переработки углеводородов. Документы, удостоверяющие горный отвод, определяют его пространственное положение в плане, по глубине и являются неотъемлемой составной частью лицензии на пользование недрами.

При определении границ горного отвода учитываются пространственные контуры месторождения нефти, газа или теплоэнергетических вод, положение участка строительства и эксплуатации подземных сооружений, границы безопасного ведения горных работ, зоны охраны от вредного влияния горных разработок и другие факторы, влияющие на состояние недр и земной поверхности в связи с процессом геологического изучения и использования недр.

Проект горного отвода для разработки месторождения нефти или газа должен состоять из *пояснительной записки* и *графических материалов*.

В пояснительной записке указываются: общие сведения о территории над горным отводом; краткая характеристика месторождения, условия разработки месторождения и другие.

Графические материалы должны состоять из копии топографического (гипсометрического) плана поверхности в проектных границах горного отвода и копий структурных карт и разрезов по каждому из объектов, составленных в соответствии с требованиями действующих инструкций и методических указаний.

**Земельным отводом** называется участок земной поверхности, выделенный предприятию (организации) для своих нужд. Для горных предприятий земельные отводы выдаются под здания, сооружения, коммуникации, отвалы, жилые поселки.

Отвод земельных участков производится в соответствии с нормативными документами: Нормы отвода земель для нефтяных и газовых скважин (СН459-74); Нормы отвода земель для магистральных трубопроводов (СН452-73); Нормы отвода земель для автомобильных дорог (СН467-74) и др.

Нормативные документы устанавливают размеры земельных участков для различных объектов и сроки использования земли.

## **2 Сущность и этапы геометризации**

Целью геометризации месторождений углеводородов является информационное графо-аналитическое обеспечение их разведки и промышленного освоения, а также анализа технико-экономической эффективности и совершенствования методов изучения и разработки нефтегазовых залежей.

В результате геометризации на основе современных представлений об образовании месторождений углеводородов и геолого-структурной и промысловой информации создается графо-аналитическая модель залежи. Модель воспроизводит форму и размер залежи, глубину залегания, свойства пород-коллекторов, нефти и газа, а также процессы, вызванные эксплуатацией месторождения. В результате геометризации определяются запасы нефти и газа, ведется учет движения запасов и потерь, оценивается точность определения параметров залежи и запасов.

Геометризация, как методика моделирования залежей, включает изучение и горногеометрический анализ пространственного распределения и изменчивости различных показателей, парагенетических связей и корреляции. При геометризации проводится математическая обработка разведочных и промысловых данных с целью получения достоверных средних и разброса значений эффективной мощности, нефтенасыщенности, проницаемости, пористости и т.д.

Результатом геометризации и графического моделирования залежи является следующий комплект чертежей.

1. Структурная карта отображает форму залегания и морфологию кровли и почвы залежи посредством изогипс, построенных по абсолютным или условным высотным отметкам соответствующей геологической поверхности.

2. Карта изомощностей отображает изменения мощностей в пространстве и является моделью формы и объема залежи.

3. Зональные карты строятся по результатам изучения пространственного распространения в мощных пластах – коллекторах зон (интервалов), которые отличаются лито-фациальной особенностью, строением и геолого-промысловыми свойствами.

4. Карты «нулевой» мощности целесообразно строить при сложном и многопластовом строении залежи, в которой выклинивающиеся прослои за-



легают наклонно. На карте изображаются границы выклинивания («нулевой» изомощности) нескольких пропластков или отдельных пластов.

5. Карты пористости и проницаемости пород-коллекторов, которые дополняют комплексную характеристику горногеометрической модели залежи.

### 3 Построение структурной карты месторождения

**Структурная карта** изображает подземный рельеф поверхности кровли или подошвы опорного или эксплуатационного пласта и выражается в изогипсах (стратоизогипсах) (подземных горизонталях) по отношению к уровню моря.

Изогипсами, или **стратоизогипсами**, называются линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками залегания пласта или репера. На детальных картах стратоизогипсы обычно проводят с разностью отметок 5–10 м; для пологих структур разность отметок принимают даже равной 1–2 м.

Структурные карты позволяют оценивать и анализировать условия залегания граничных поверхностей, как в пределах крупных регионов, так и на отдельных разведочных площадях и месторождениях нефти и газа. Две структурные карты – кровли и подошвы позволяют охарактеризовать строение и условия залегания одного слоя, прогнозировать наличие или отсутствие ловушек для залежей нефти и газа.

Структурные карты строятся по данным бурения, или по геофизическим профилям.

При построении структурных карт по разрезам скважин применяют два метода: *метод треугольников* и *метод профилей*. При применении любого из методов сначала необходимо определить масштаб будущей карты и величину сечения изолиний. В геологической практике масштаб структурной карты обычно обусловлен геологическими задачами и обоснованностью фактическим материалом. Наиболее распространенные масштабы: 1:5 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000.

Методика построения структурных карт близка к методике, по которой составляются топографические карты.

На топографическую карту наносят положение устьев скважин. Затем из буровых журналов берут абсолютную отметку устья скважины и глубину до кровли пласта. Вычитая из первой величины вторую, получают абсолютную отметку кровли пласта.

Таким же образом вычисляют абсолютные отметки кровли пласта по всем остальным скважинам и подписывают их на карте.

## **Лекция 11 Маркшейдерское обеспечение обустройства нефтяных и газовых месторождений**

- 1 Содержание маркшейдерских работ при строительстве скважин
- 2 Вертикальная планировка площадки под буровую установку
- 3 Разбивочные работы при сооружении буровой установки
- 4 Перенесение в натуру планового положения устьев скважин
- 5 Определение планово-высотного положения устьев скважин

### **1 Содержание маркшейдерских работ при строительстве скважин**

Практически на всех этапах строительства скважин, за исключением испытания скважины на приток нефти и газа и демонтажа бурового и силового оборудования, вышки и привышечных сооружений, производятся маркшейдерско-геодезические работы. Они включают:

- выбор участка местности под буровую установку и его вертикальная планировка;
- перенесение в натуру проекта размещения устьев скважин;
- геодезические разбивочные работы при строительстве буровой установки и привышечных сооружений;
- плановая и высотная привязка устьев скважин;
- контроль за соблюдением проектных направлений проводки скважин и правильностью определения пространственного положения осей скважин при бурении.

### **2 Вертикальная планировка площадки под буровую установку**

Совокупность работ по приведению существующей топографической поверхности в проектную называют **вертикальной планировкой**.

При строительстве скважин проектной является горизонтальная поверхность, т.е. площадка под буровую установку проектируется горизонтальной. Проектирование горизонтальной площадки выполняется с соблюдением баланса земляных работ: объемы насыпей и выемок грунта должны быть равными.

Перед выбором площадки необходимо провести инженерно-геологические изыскания, целью которых является исследование грунта, его несущей способности (способности выдержать массу буровой вышки и всего оборудования), а также установление мест с неблагоприятными для строительства геологическими условиями (карсты, оползни, отвалы, заболоченные участки).

Данные для составления проекта вертикальной планировки площадки под буровую установку получают с маркшейдерского плана этой площадки,

составленного в масштабе 1:500 с сечением рельефа 0,25–1,0 м. На плане разбивают сетку квадратов стороной 4 см, что составляет 20 м на местности. Стороны квадратов удобнее всего провести параллельно координатным линиям плана. Вершины квадратов на маркшейдерском плане и схеме нумеруют одинаково. По маркшейдерскому плану определяют фактические отметки (абсолютные высоты) вершин всех квадратов и выписывают их на схему.

Решение задачи по проектированию горизонтальной площадки выполняется в следующей последовательности.

1. Вычисляется проектная отметка горизонтальной площадки.
2. По отметкам вершин квадратов и проектной отметке вычисляются рабочие отметки всех вершин сетки квадратов.
3. Определяется положение линии нулевых работ – линии пересечения проектной плоскости с топографической поверхностью участка местности.
4. Подсчитываются объемы земляных работ отдельно для выемки и насыпи.

К объему земляных работ при вертикальной планировке площади под буровую установку добавляется еще объем земляных работ при рытье емкостей под выбуренную породу и котлованов под фундаменты ног фонаря вышки, лебедки, насосов и двигателей. Все эти данные используются для подсчета стоимости земляных работ.

После того как землеройными машинами площадка будет выровнена, ее горизонтальность проверяется следующим образом. В центре площадки устанавливается нивелир, приводится в рабочее положение и берутся отсчеты по нивелирной рейке, устанавливаемой в ряде точек площадки. Колебание этих отсчетов допускается в пределах 0,1–0,2 м.

### **3 Разбивочные работы при сооружении буровой установки**

Маркшейдерские работы при сооружении буровой установки включают: разбивки главных осей буровой установки и осей оснований оборудования горнопроходческого комплекса (включает буровую установку и привышечное оборудование); плановую и высотную выверки фундаментов, опорных конструкций и оборудования; проверку вертикальности шахтного направления; проверку соосности буровой вышки, ротора и шахтного направления; определение высоты буровой установки.

Контур любого сооружения разбивается на местности путем выноса в натуру точек пересечения основных осей.

Вынос в натуру основных осей сооружения выполняется относительно пунктов маркшейдерского съемочного обоснования, а также от местных предметов, изображенных на генеральном плане. Подготовка разбивочных данных выполняется в основном аналитическим способом.

Геодезическая разбивка фундаментов, основных осей буровой установки и привышечного оборудования чаще всего производится способом полярных координат. Теодолит при этом устанавливается в точке, которая является

вынесенной на местность проектной скважиной – центром ее ствола. Полярной осью служит линия, соединяющая центр ствола будущей скважины и ближайший пункт съемочного обоснования или хорошо опознаваемую на местности контурную точку генерального плана.

Кроме разбивки фундаментов под буровую вышку в плане, необходима разбивка их по высоте. Установка фундаментов на проектную отметку выполняется с помощью нивелира.

Контрольные измерения при строительстве буровой вышки включают:

- 1) контроль закрепления разбивочных осей;
- 2) плановую и высотную выверку фундаментов;
- 3) плановую и высотную выверку опорных конструкций (фундаментных балок, рам дизельных агрегатов и других конструкций);
- 4) плановую и высотную выверку оборудования;
- 5) выверку вертикальности шахтного направления;
- 6) выверку соосности буровой вышки, ротора и шахтного направления.

#### **4 Перенесение в натуру планового положения устьев скважин**

Задачей переноса скважин в натуру является определение и обозначение на местности точек, соответствующих проектному положению их на топографической карте.

Перенесению проектного местоположения устьев скважин в натуру должна предшествовать рекогносцировка района работ, в результате которой устанавливают состояние исходной геодезической сети, качество имеющихся топографических карт, границы района работ, метод выноса проектного положения устьев скважин в натуру.

Перенос выработок в натуру может быть выполнен одним из следующих способов.

1) По топографическим картам, масштаб и качество которых обеспечивают требуемую точность.

Допускается использовать следующие методы перенесения устьев скважин в натуру: совмещение устьев скважины с четко выраженным контуром, промер вдоль контура, метод створов, линейная засечка и др. При построении линейной засечки на местности по расстояниям, взятым с карты (не менее чем от трех контуров), сторона треугольника погрешности не должна превышать значения предельной стороны погрешности для соответствующей группы скважин.

2) В случае отсутствия топографических карт требуемого масштаба или при отсутствии четких контуров вынесение проектного положения устьев скважин осуществляют *проложением теодолитных ходов, построением триангуляции, способом полярных координат, геодезическими засечками и спутниковой геодезической аппаратурой.*

## 5 Определение планово-высотного положения устьев скважин

После монтажа буровой установки должна быть произведена плановая и высотная привязка устьев скважин, которая осуществляется теми же способами, что и перенос в натуру, т. е. по карте, полярным способом, засечками, проложением теодолитных ходов, геодезической спутниковой аппаратуры. Вычисленные координаты и высоты вносят в каталог. По вычисленным координатам устья буровых скважин наносят на маркшейдерский план.

Рассмотрим способы планово-высотной привязки.

**По топографическим картам (планам)** допускается выполнять определение планового положения устьев скважин, если масштабы карт не мельче указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Масштабы топографических карт, обеспечивающих требуемую точность переноса выработок в натуру

Группа скважин	Масштаб топографических карт должен быть не мельче
1	1:50 000
2, п. 2.1	1:10 000
2, п. 2.2	1:5 000
3	1:2 000

Плановую привязку устьев скважин по карте выполняют линейной засечкой не менее чем от трех четко выраженных контуров. В процессе привязки составляют абрис, на котором указывают эти контуры и расстояния от них до определяемой скважины.

**Полярный способ** применяют, если бурящиеся скважины расположены вблизи пунктов геодезической основы. Способ состоит в измерениях направления на пункте геодезической сети и расстояния до скважины. Расстояние можно измерять любым способом.

**Определение координат засечками.** Засечкой называется метод определения координат отдельной точки измерением элементов, связывающих ее положение с исходными пунктами. Для определения планового положения точки необходимо измерить два элемента. Для контроля, кроме необходимых, выполняют избыточные измерения. Засечки различают *прямые*, *обратные* и *комбинированные*. В прямой засечке измерения выполняют на исходных пунктах; в обратной – на определяемом пункте; в комбинированной – на исходных и определяемом пунктах.

**Триангуляционные построения.** Координаты планового положения скважин при этом способе могут быть определены из:

а) отдельного треугольника, две вершины которого – пункты маркшейдерской сети, а третья – определяемая скважина (точка); в треугольнике должны быть измерены все углы;

б) геодезического четырехугольника, две вершины которого – пункты маркшейдерской сети, третья – скважина или определяемая точка, четвертая – вспомогательная точка или скважина; углы измеряются на пунктах маркшейдерско-геодезической основы и вспомогательной точке (скважине), а углы при определяемой скважине вычисляют как дополнение суммы двух измеренных углов до  $180^\circ$ ;

в) центральной системы, состоящей из треугольников, опирающихся на одну сторону маркшейдерской сети; вершины этих треугольников – определяемые скважины или вспомогательные точки; во всех треугольниках измеряют по три угла;

г) вставки в твердый угол – это вставка системы треугольников в угол, образованный сторонами маркшейдерской сети, причем в вершине твердого угла углы можно не измерять; их вычисляют как дополнение суммы двух измеренных углов до  $180^\circ$ ;

д) цепочка треугольников между двумя твердыми сторонами маркшейдерской сети с измерением всех углов в треугольнике, причем вершинами треугольников являются скважины или вспомогательные точки.

**Теодолитные ходы.** Этот способ применяют при привязке скважин, расположенных в полузакрытой местности, и при недостаточном обеспечении разведочных или эксплуатационных площадей пунктами маркшейдерско-геодезической основы.

Ходы при этом можно выполнять в виде разомкнутого теодолитного хода между двумя пунктами геодезической основы, теодолитного полигона, опирающегося на один пункт геодезической основы, или системы соприкасающихся полигонов, образующих несколько узловых точек, системы теодолитных ходов, образующих одну узловую точку и системы теодолитных ходов, образующих несколько узловых точек.

**Определение отметок устьев скважин.** Определение отметок производится дважды как при выносе в натуру, так и при последующей их привязке. Предварительное определение отметки места заложения скважин производится по плану съемки масштаба 1:500 участка для строительства буровой и вышечного оборудования. План съемки используют в дальнейшем при проектировании для подсчета объема земляных работ и рационального размещения вышки и бурового оборудования.

В зависимости от стадии разведки на нефть и газ или периода эксплуатации высоты устьев скважин определяют одним из следующих способов, обеспечивающих требуемую точность: *по топографическим картам; геодезическим (тригонометрическим) нивелированием; геометрическим нивелированием.*

## Лекция 12 Маркшейдерско-геодезические съемочные работы

- 1 Виды съемок и их классификация
- 2 Цифровые и математические модели местности
- 3 Спутниковые методы измерений в геодезических работах
- 4 Инженерно-геодезические изыскания

### 1 Виды съемок и их классификация

Совокупность действий, выполняемых на местности для получения плана, карты или профиля, называется **съемкой**.

Основными действиями при съемках являются геодезические измерения: линейные, угловые и высотные.

Если съемка проводится для получения плана с изображением только ситуации, то ее называют **горизонтальной** (плановой), или **контурной**.

Съемка, в результате которой должен быть получен план или карта с изображением ситуации и рельефа, называется **топографической**. При топографической съемке наряду с другими действиями производят измерения с целью определения высот точек местности, т.е. нивелирование. В зависимости от применяемых приборов и методов различают следующие виды съемок.

**Теодолитная съемка** – это горизонтальная (плановая) съемка местности, выполняемая с помощью угломерного прибора – теодолита и рулетки (или дальномеров различных типов). При выполнении этой съемки измеряют горизонтальные углы и расстояния. В результате съемки получают ситуационный план местности с изображением контуров и местных предметов.

**Тахеометрическая съемка** выполняется тахеометрами, при этом на местности измеряют горизонтальные и вертикальные углы (или превышения) и расстояния до точек. По результатам измерений в камеральных условиях строится топографический план местности.

**Мензуральная съемка** производится с помощью мензулы – горизонтального столика и кипрегеля – специального углоначертательного прибора, снабженного вертикальным кругом и дальномером. В процессе этой съемки топографический план местности составляется непосредственно в поле, что позволяет сопоставлять полученный план с изображаемой местностью, обеспечивая тем самым своевременный контроль измерений.

**Наземная стереофотосъемка** выполняется фототеодолитом, представляющим собой сочетание теодолита и фотокамеры. Путем фотографирования местности с двух точек линии (базиса) и последующей обработки фотоснимков на специальных фотограмметрических приборах получают топографический план снимаемого участка местности. Данная съемка применяется при дорожных, геологических и других изысканиях в горной местности, при съемках карьеров, оврагов и т.д.

**Аэро- и космическая фотосъемки** проводятся специальными аэрофотоаппаратами, устанавливаемыми на летательных аппаратах (самолетах, спутниках и т.д.). Для обеспечения этой съемки на местности выполняют определенные геодезические измерения, необходимые для планово-высотной привязки аэроснимков к опорным точкам местности. Данный вид съемки допускает широкую механизацию и автоматизацию производственных процессов и позволяет в кратчайшие сроки получить топографические планы (карты) значительных территорий.

Одним из современных направлений в области геодезических исследований являются съемки на базе *системы спутникового позиционирования*.

**Нивелирование** (вертикальная или высотная съемка) производится с целью определения высот точек земной поверхности.

**Бусольная съемка** производится с помощью буссоли и рулетки для получения ситуационного плана местности. В качестве самостоятельной бусольная съемка в настоящее время не применяется. Иногда она используется для съемки небольших участков местности (например, в лесоустройстве и др.) как вспомогательная при других видах съемок.

**Глазомерная съемка** – контурная съемка местности, выполняемая на планшете с компасом с помощью визирной линейки. Глазомерная съемка с самолета (вертолета) называется **аэровизуальной**. В инженерной практике данная съемка применяется при предварительном ознакомлении с местностью (рекогносцировке), а также при изысканиях в неисследованных районах.

## 2 Цифровые и математические модели местности

Топографические карты и планы являются основной формой хранения детальной информации о топографии местности в графическом виде.

Автоматизация сбора, регистрации и обработки данных и развитие автоматизированных систем проектирования на базе ЭВМ позволяют представить изображение местности в виде цифровых и математических моделей местности.

**Цифровой моделью местности (ЦММ)** называется множество, элементами которого является топографо-геодезическая информация о местности.

ЦММ создаются с помощью таких программных комплексов как «AutoCad Land Development Desktops», «Autodesk Civil 3D», «Autodesk Map 3D», «MapInfo», «Credo» и др.

Цифровая модель местности, записанная на машинном носителе в определенных структурах и кодах представляет собой **электронную карту**.

Математическую интерпретацию цифровых моделей для решения конкретных инженерно-технических задач на ЭВМ называют **математической моделью местности (МММ)**.



По своему содержанию общая модель местности представляет собой сочетание отдельных цифровых моделей: ситуации, рельефа, почвенно-грунтовых, гидрогеологических, инженерно-геологических, технико-экономических показателей и других характеристик местности. ЦММ используют для выбора оптимальных вариантов проектных решений: выбор трассы дорог, каналов и других линейных сооружений, составление проектов вертикальной планировки, расчеты искусственных сооружений и т.д.

При проектировании инженерных сооружений чаще всего используют цифровую модель ситуации и цифровую модель рельефа.

Цифровая модель ситуации создается обычно на застроенные территории; все здания, сооружения и другие элементы ситуации задаются координатами характерных точек (центров, углов, пересечением осей и т. п.), определяющими положение ситуации на местности.

Цифровая модель рельефа по способу размещения точек рельефа может быть представлена *регулярной, полурегулярной, структурной и статистической* моделями.

### 3 Спутниковые методы измерений в геодезических работах

Автономные методы координатных определений осуществляются путем внедрения спутниковых систем позиционирования, т. е. определяется местоположение (координаты) объектов при помощи ИСЗ.

Каждая навигационная спутниковая система включает три составляющих: космический сегмент (созвездие спутников), сегмент контроля и управления (наземные станции слежения), сегмент пользователей (аппаратура пользователей).

Пространственное положение спутников в геоцентрической системе координат (относительно центра масс Земли) известно в каждый момент времени.

Способы позиционирования можно разделить на две группы – *абсолютные определения координат кодовым методом* и *относительные фазовые измерения*.

При выполнении абсолютных измерений определяются полные координаты точек земной поверхности. Наблюдения, выполняемые на одном пункте независимо от измерений на других станциях, называются **автономными**. Автономные наблюдения очень чувствительны ко всем источникам погрешностей, обеспечивают точность определения координат 15–30 м и используются для нахождения приближенных координат в точных измерениях.

Для решения геодезических задач, когда необходимо получать координаты точек с высокой точностью, используют *относительные измерения*, при которых дальности до спутников определяют фазовым методом, и по ним вычисляют приращения координат или вектора между станциями, на которых установлены спутниковые приемники.

Различают два основных способа относительных измерений: *статический* и *кинематический*.

При *статическом позиционировании*, как и при дифференциальных измерениях, приемники работают одновременно на двух станциях – базовой с известными координатами и определяемой. После окончания измерений выполняется совместная обработка информации, собранной двумя приемниками. Точность способа зависит от продолжительности измерений, которая выбирается в соответствии с расстоянием между точками. Современные приемники позволяют достичь точности определения плановых координат (5–10 мм) +1–2 мм/км, высотных – в 2–3 раза ниже.

Кинематические измерения позволяют получать координаты точек земной поверхности за короткие промежутки времени. При этом вначале статическим способом определяют координаты первой точки, т.е. выполняют привязку подвижной станции к базовой, называемую *инициализацией*, а затем, не прерывая измерений, передвигая приемник, устанавливают поочередно на вторую, третью и т.д. точки. Для контроля измерения завершают на первой точке либо на пункте с известными координатами, где выполняют статические наблюдения. Точность кинематического способа составляет 2–3 см в плане и 6–8 см по высоте.

#### 4 Инженерно-геодезические изыскания

Основной задачей инженерных изысканий является комплексное изучение природных условий района месторождения и получение необходимых материалов для разработки экономически целесообразных и технически обоснованных решений при проектировании и обустройстве месторождения, а также данных для составления прогноза изменений окружающей природной среды под воздействием эксплуатации месторождения.

По своему содержанию изыскания делятся на *экономические* и *технические*.

При выполнении *экономических изысканий* определяется экономическая целесообразность разработки месторождения в данном районе на основе изучения производительных сил района, сырьевых и энергетических ресурсов, транспортных связей.

Целью *технических изысканий* является изучение технической возможности разработки месторождения в данном районе и определение его основных показателей. Эти изыскания включают в себя *инженерно-геодезические*, *инженерно-геологические* и *инженерно-метеорологические изыскания*.

*Инженерно-геодезические изыскания* предусматривают изучение топографических условий района месторождения и получение топографо-геодезических данных, необходимых для проектирования объектов обу-

стройства месторождения и выполнения других видов изысканий, которыми являются ситуация и рельеф.

В зависимости от назначения и вида сооружений, площади изучаемого участка и стадии проектирования в состав инженерно-геодезических изысканий входят:

- сбор и анализ имеющихся материалов топографо-геодезической изученности;
- развитие государственной геодезической сети 3-го и 4-го классов, геодезической сети сгущения 1-го и 2-го разрядов и нивелирной сети II–IV классов;
- создание планово-высотной съемочной геодезической сети;
- топографическая съемка и обновление топографических планов;
- съемка подземных инженерных коммуникаций;
- геодезическое трассирование линейных сооружений;
- инженерно-геодезическое обеспечение геологических, гидрометеорологических и других видов изысканий, включая специальные геодезические наблюдения;
- картографические работы.

Программа на инженерно-геодезические изыскания, кроме общих характеристик района, его изученности, сведений об объектах должна содержать:

- карту-схему с границами участков и разграфкой листов плана;
- сведения о системах координат и высот;
- обоснование видов и классов геодезических и нивелирных сетей и их расчет точности;
- обоснование масштабов съемок и высот сечения рельефа, если они не соответствуют установленным в техническом задании;
- чертежи геодезических центров;
- сведения о привязке горных выработок, гидрологических и геофизических точек и др.

## Лекция 13 Теодолитная съемка

- 1 Теодолитные ходы
- 2 Прокладка теодолитных ходов на местности
- 3 Привязка теодолитных ходов
- 4 Съёмка ситуации местности
- 5 Камеральные работы
- 6 Определение площадей земельных угодий

### 1 Теодолитные ходы

**Теодолитной** называется горизонтальная (контурная) съемка местности, в результате которой может быть получен план с изображением ситуации местности (контуров и местных предметов) без рельефа. Теодолитная съемка относится к числу крупномасштабных (масштаба 1:5000 и крупнее) и применяется в равнинной местности в условиях сложной ситуации и на застроенных территориях: в населенных пунктах, на строительных площадках, промплощадках предприятий, на территориях железнодорожных узлов, аэропортов и т.п. В качестве планового съемочного обоснования при теодолитной съемке обычно используются точки теодолитных ходов.

**Теодолитные ходы** – это системы ломаных линий, в которых горизонтальные углы измеряются техническими теодолитами, а длины сторон – рулетками либо оптическими или лазерными дальномерами. По точности теодолитные ходы подразделяются на ходы точности 1:3000, 1:2000 и 1:1000. Обычно теодолитные ходы не только нужны для выполнения съемки ситуации местности, но и служат геодезической основой для других видов инженерно-геодезических работ. Теодолитные ходы развиваются от пунктов плановых государственных геодезических сетей и сетей сгущения.

По форме различают следующие виды теодолитных ходов:

- 1) разомкнутый ход, начало и конец которого опираются на пункты геодезического обоснования;
- 2) замкнутый ход (полигон) – сомкнутый многоугольник, обычно примыкающий к пункту геодезического обоснования;
- 3) висячий ход, один из концов которого примыкает к пункту геодезического обоснования, а второй конец остается свободным.

Форма теодолитных ходов зависит от характера снимаемой территории. Так, для съемки полосы местности при трассировании осей линейных объектов (дорог, трубопроводов, ЛЭП и т.п.) прокладывают разомкнутые ходы. При съемках населенных пунктов, строительных площадок обычно по границе участка прокладывают замкнутый ход (полигон). При необходимости внутри полигона прокладывают диагональные ходы, которые могут образовывать узловые точки.

Проложение висячих теодолитных ходов допускается лишь в отдельных случаях при съемке неотчетственных объектов; при этом длина висячего хода не должна превышать 300 м при съемках масштаба 1:2000 и 200 м – масштаба 1:1000.

Теодолитная съемка складывается из подготовительных, полевых и камеральных работ. Наибольший объем приходится на полевые работы, которые включают в себя *рекогносцировку снимаемого участка, прокладку теодолитных ходов и полигонов, их привязку к пунктам геодезической опорной сети и съемку ситуации.*

## 2 Прокладка теодолитных ходов на местности

**Рекогносцировка** – это обход и осмотр местности с целью знакомства с объектами съемки, отыскивания пунктов опорной геодезической сети, окончательного выбора местоположения точек теодолитных ходов на местности и уточнения составленного проекта.

Точки теодолитных ходов должны располагаться в местах с хорошим обзором местности; между смежными вершинами теодолитного хода должна обеспечиваться хорошая взаимная видимость. Длины теодолитных ходов не должны быть более 350 м и менее 20 м, а углы наклона не должны в среднем превышать  $5^\circ$ . Вершины теодолитных ходов закрепляются на местности в основном временными знаками – деревянными кольями.

**Установка теодолита в рабочее положение.** Перед началом измерений теодолит устанавливается над точкой в рабочее положение. Полная установка прибора в рабочее положение складывается из его центрирования над точкой, горизонтирования и установки зрительной трубы для наблюдений.

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

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

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

**Измерение горизонтальных углов.** Перед началом измерений теодолит устанавливают в вершине измеряемого угла в рабочее положение. На задней и передней точках в створе линий отвесно устанавливаются вехи (рейки), на нижнюю часть которых осуществляют визирование.

В зависимости от конструкции приборов, условий измерений и предъявляемых к ним требований применяются следующие способы измерения горизонтальных углов.

1. *Способ приемов (или способ отдельного угла)* – для измерения отдельных углов при проложении теодолитных ходов, выносе проектов в натуру и т. д.

2. *Способ круговых приемов* – для измерения углов из одной точки между тремя и более направлениями в сетях триангуляции и полигонометрии второго и более низких классов (разрядов).

3. *Способ повторений* – для измерения углов, когда необходимо повысить точность окончательного результата измерения путем ослабления влияния погрешности отсчитывания; используется при работе с техническими повторительными теодолитами.

В геодезии измеряют правые или левые по ходу горизонтальные углы способом приемов.

### **3 Привязка теодолитных ходов**

Для получения координат точек теодолитных ходов в общегосударственной системе координат и для осуществления контроля измерений теодолитные ходы следует привязывать к пунктам геодезической опорной сети.

Сущность привязки теодолитных ходов состоит в передаче с опорных пунктов плановых координат как минимум на одну из точек теодолитного хода и дирекционного угла на одну или несколько его сторон. Координаты опорных пунктов и дирекционные углы исходных направлений выбираются из каталогов пунктов геодезической сети.

Рассмотрим наиболее характерные случаи привязки теодолитных ходов и полигонов.

1. *Теодолитный ход непосредственно примыкает к пункту опорной сети.* Для передачи дирекционного угла на одну из сторон теодолитного хода следует измерить примычный угол между исходной и определяемой сторонами. Для контроля обычно измеряют правый и левый по ходу примычные углы, их сумма не должна отличаться от  $360^\circ$  более чем на полуторную точность теодолита.

2. *Теодолитный ход проложен между двумя пунктами опорной сети).* Непосредственная привязка хода заключается в измерении на конечных пунктах примычных углов между исходными направлениями и, соответственно, первой и последней сторонами хода.

3. *Теодолитный ход не примыкает к пунктам опорной сети.* В этом случае от ближайшего пункта опорной сети прокладывают специальный теодолитный ход до одной из сторон теодолитного хода; с целью контроля измерений и повышения надежности привязки привязочный ход должен быть

замкнутым. На исходном пункте и точке теодолитного хода измеряют привязочные углы.

Если вблизи теодолитного хода расположены как минимум два пункта геодезической опорной сети, с которых имеется видимость на одну из точек хода, то его привязка может быть выполнена прямой геодезической засечкой.

При наличии видимости с определяемой точкой на три пункта опорной сети привязка осуществляется обратной геодезической засечкой.

4. *В районе прокладки теодолитного хода отсутствуют пункты опорной сети.* В этом случае дирекционные углы одной или нескольких сторон хода могут быть вычислены, исходя из значений истинных азимутов направлений, которые устанавливаются на основе астрономических наблюдений небесных светил либо определяются с помощью гиротеодолита. Зная величину сближения меридианов, рассчитывают дирекционные углы определяемых направлений.

С помощью буссоли, установленной на теодолите, можно измерить магнитные азимуты одной или нескольких сторон теодолитного хода и с учетом величин склонения магнитной стрелки и сближения меридианов и определить дирекционные углы этих сторон. Координаты начальной точки теодолитного хода задаются условно.

#### 4 Съёмка ситуации местности

Съёмка ситуации местности заключается в определении положения характерных точек контуров и местных предметов относительно вершин и сторон теодолитного хода. Съёмка может выполняться одновременно с проложением теодолитного хода либо после измерения углов и сторон полигона. Результаты измерений при съёмке заносят в абрис. **Абрисом** называют схематический чертеж, масштаб которого принимается произвольным. На абрисе показывают взаимное расположение вершин теодолитных ходов, линий и снимаемых объектов со всеми числовыми результатами измерений и пояснительными записями. Он является основным документом съёмки и служит материалом для составления плана местности. В зависимости от характера местности и расположения контуров относительно теодолитных ходов применяют тот или иной способ съёмки ситуации.

**Способ перпендикуляров** (ординат или прямоугольных координат) – применяется на открытой местности для съёмки контуров вытянутой формы и местных предметов, расположенных вблизи сторон теодолитного хода.

**Способ полярных координат** (полярных направлений) применяется на открытой местности для съёмки отдельных местных предметов и характерных точек контуров, удаленных от теодолитного хода.

**Способ биполярных координат (угловых засечек)** применяют для съёмки труднодоступных точек на открытой местности.

**Способ створов** (промеров) применяется в случаях, когда границы ситуации пересекают стороны теодолитного хода или продолжение сторон, а также для определения положения вспомогательных опорных точек.

**Способ обхода** применяется на закрытой местности для съемки важных объектов, которые из-за дальности и местных препятствий не могут быть сняты от вершин и сторон основного теодолитного хода. В этом случае вокруг снимаемого объекта прокладывают дополнительный съемочный ход, который привязывают к основному ходу.

**Составление абриса.** Размер абриса должен обеспечивать четкое и удобное расположение на нем всех построений и записей.

Для контроля результатов измерений съемку наиболее важных объектов или отдельных их точек рекомендуется осуществлять путем выполнения измерений с двух точек хода или различными способами. Если с данной точки (или линии) хода съемка контура не закончена, то на новой станции ее следует начинать с точки, которая уже была снята с предыдущей станции.

## 5 Камеральные работы

Камеральные работы при теодолитной съемке включают вычисления и графические построения. В результате вычислений определяют плановые координаты вершин теодолитных ходов; конечной целью графических построений является получение ситуационного плана местности.

Измеренные углы и длины сторон теодолитных ходов содержат неизбежные случайные погрешности, накопление которых приводит к возникновению *невязок*.

**Невязками** называются разности между измеренными либо вычисленными результатами и их теоретическими значениями.

В зависимости от требуемой точности величины фактических невязок не должны превышать определенных величин. При обработке результатов измерений возникшие невязки должны быть определенным образом распределены между измеренными (вычисленными) величинами.

Процесс распределения невязок и вычисления исправленных значений величин называется **увязкой** или **уравниванием результатов измерений**. После уравнивания обычно проводится оценка точности полученных результатов.

Вычислительные работы по определению координат вершин теодолитного хода включают в себя: 1) обработку угловых измерений и вычисление дирекционных углов сторон; 2) вычисление горизонтальных проложений сторон; 3) вычисление приращений координат и координат вершин хода.

Графические работы состоят в построении плана теодолитной съемки на основе координат вершин теодолитного хода и абрисов съемки ситуации. Составление плана выполняется в следующей последовательности: 1) по-



строение координатной сетки; 2) накладка теодолитного хода на план; 3) нанесение ситуации; 4) оформление плана.

## 6 Определение площадей земельных угодий

Для решения многих инженерных задач землеустройства (при составлении землеустроительных проектов, выделении участков в пользование организациям или отдельным лицам, ведении государственного земельного кадастра и т.д.) требуется знать площади земельных угодий. Эти площади могут быть рассчитаны *аналитически* по результатам измерений на местности либо определены по плану или карте *графическим* и *механическим* способами либо их комбинациями.

Если по результатам измерений на местности определены координаты вершин замкнутого многоугольника, то площадь последнего может быть определена *аналитическим способом*.

Для определения площадей небольших участков по плану или карте применяется *графический способ* с разбивкой участка на геометрические фигуры либо с помощью палеток. В первом случае искомую площадь небольшого (до 10–15 см<sup>2</sup> в плане) участка разбивают на простейшие геометрические фигуры: треугольники, прямоугольники, трапеции. При криволинейном контуре участка его разбивка на геометрические фигуры выполняется с таким расчетом, чтобы стороны фигуры по возможности ближе совпадали с этим контуром. Затем на плане (карте) измеряют соответствующие элементы фигур (например, длины оснований и высоты) и по геометрическим формулам вычисляют площади этих фигур. Площадь всего участка определяется как сумма площадей отдельных фигур.

Определение площадей малых (до 2–3 см<sup>2</sup>) участков с резко выраженными криволинейными границами можно производить с помощью квадратной палетки.

При определении площадей до 10 см<sup>2</sup> возможно использование параллельной (линейной) палетки.

Суммарная длина отрезков может быть замерена с помощью *курвиметра*.

В инженерной практике для определения площадей больших участков по планам или картам наиболее часто применяется *механический способ*, основанный на использовании специального прибора – *планиметра*.

## Лекция 14 Техническое нивелирование

- 1 Основные направления производства технического нивелирования
- 2 Продольное инженерно-техническое нивелирование
- 3 Обработка результатов полевых работ и составление профиля трассы
- 4 Изыскания нефте- газо- проводов

### 1 Основные направления производства технического нивелирования

Техническое нивелирование производится с целью создания высотного обоснования топографических съемок масштабов 1:500–1:5000, а также при изысканиях, проектировании и строительстве различного рода инженерных сооружений.

Нивелирные ходы, прокладываемые для определения высот пунктов съемочного обоснования, должны опираться на пункты высшего класса. В исключительных случаях разрешается прокладывать висячие ходы, опирающиеся на твердую точку; при этом ходы прокладываются в прямом и обратном направлениях. Максимальная длина хода принимается в зависимости от характера рельефа местности, масштаба съемки и высоты сечения рельефа; так, например, предельная длина хода между двумя пунктами высшего класса при высоте сечения рельефа  $h \geq 1$  м составляет 16 км, висячего хода – 4 км.

Техническое нивелирование для создания высотного обоснования съемок выполняется способом из середины техническими нивелирами с использованием двухсторонних шашечных реек. Расстояние от нивелира до реек допускается до 150 м, неравенство плеч – не более 10 м, а их накопление в секции – до 50 м. Отсчеты по рейкам берутся только по средней нити. Разность значений превышения на станции, определенных по черной и красным сторонам реек, не должна превышать 5 мм.

Техническое нивелирование, выполняемое с целью обеспечения строительства сооружений линейного типа (железных или шоссейных дорог, трубопроводов, линий электропередач, каналов и т.д.), называется **продольным**. Для получения детального топографического плана на участке строительства крупных объектов при решении вопросов, связанных с вертикальной планировкой территории и подсчетом объемов земляных масс, выполняют нивелирование поверхности (площади). В случае, когда техническое нивелирование предназначается для решения конкретных инженерных задач, его точность регламентируется ведомственными инструкциями.

## 2 Продольное инженерно-техническое нивелирование

**Проектирование трассы.** Инженерно-техническое нивелирование, выполняемое для обеспечения строительства линейных объектов, ведется по предварительно намеченной линии, представляющей собой ось будущего сооружения и называемой **трассой**. Весь цикл работ по его производству складывается из *составления проекта, полевых и камеральных работ*.

Проектирование трассы выполняют по топографическим картам и планам либо аэрофотоснимкам. В зависимости от характера рельефа местности различают трассирование линейного сооружения по заданному направлению и по заданному уклону. Трассирование по заданному направлению выполняют в равнинных и слабопересеченных районах, где естественные уклоны не превышают допустимых. В условиях холмистой и гористой местности, где уклоны значительно превышают допустимые значения, трассы проектируют по заданному уклону.

Разнообразие видов линейных сооружений, их эксплуатационные и конструктивные особенности обуславливают некоторые различия в производстве инженерно-геодезических работ в каждом конкретном случае. Наиболее типичной является программа геодезических измерений при дорожных изысканиях, рассматриваемая далее.

**Полевые работы** включают *рекогносцировку местности, разбивку пикетажа, поперечников и кривых, съемку полосы местности вдоль трассы, нивелирование трассы и поперечников*.

**Рекогносцировка и разбивка пикетажа на трассе.** Направление и основные точки трассы устанавливаются в соответствии с ее проектом, намеченным на карте. В процессе рекогносцировки уточняют проектное положение трассы на местности и закрепляют точки поворота трассы деревянными столбами. При этом стремятся иметь минимальное число углов поворота; стороны трассы должны быть по возможности длинными, проходить по местности с небольшими уклонами, твердым грунтом и наименьшим количеством препятствий.

Плановой основой продольного нивелирования служит теодолитный ход прокладываемый по трассе, в который включают все вынесенные в натуру основные точки трассы (начало и конец трассы, вершины углов поворота и др.). В процессе проложения теодолитного хода производят вешение линий между вершинами углов поворота трассы, измеряют горизонтальные углы, длины сторон и разбивают пикетаж.

**Измерение длин сторон и разбивку пикетажа** производят рулеткой в одном направлении с контролем по нитяному дальномеру.

**Разбивка поперечников.** В характерных местах рельефа перпендикулярно к направлению трассы с помощью эскера и рулетки разбивают поперечники, длина которых зависит от ширины сооружения.

Одновременно с разбивкой пикетажа по обеим сторонам от оси трассы производят **контурную съемку полосы местности** шириной 100–200 м. **Разбивка закруглений на трассе.** Прямолинейные участки дороги в углах пово-

ротов сопрягаются плавными кривыми, из которых наиболее простой является круговая кривая.

Разбивка кривой в главных точках. Разбивка ее на местности заключается в определении планового положения трех главных точек: начала кривой, середины кривой и конца кривой. Положение этих точек определяют по основным элементам кривой, к которым относятся: угол поворота трассы, радиус кривой (радиус закругления), тангенс кривой (касательная), длина кривой, являющаяся длиной дуги поворота, домер и биссектриса кривой.

Угол поворота трассы рассчитывается по измеренному горизонтальному углу в точке поворота; величина радиуса кривой назначается исходя из условий местности и технических параметров и нормативов. По углу поворота и радиусу рассчитывают остальные элементы.

После закрепления на местности главных точек кривой производят вынос пикетов на кривую.

Вынос пикетов на кривую. При разбивке трассы на участках закруглений пикеты временно закрепляют на тангенсах, а затем переносят на кривую. Задачу по выносу пикетов на кривую решают способом прямоугольных координат; за оси абсцисс принимаю направление тангенса, а за оси ординат – направление по радиусам к центру кривой.

Сначала устанавливают, в какой половине кривой находится выносимый пикет. Затем вычисляют прямоугольные координаты пикета. По вычисленным координатам переносят пикеты на кривую.

Нивелирование трассы. Для определения высот точек трассы (пикетных, плюсовых, точек поперечников) по трассе прокладывают нивелирный ход, в который включают все постоянные и временные реперы. Абсолютная отметка нулевого пикета находится из привязки к пунктам нивелирной сети.

Нивелирование выполняется техническим нивелиром способом из середины. Расстояние от нивелира до реек принимается в среднем равным 100 м, при особо благоприятных условиях (в равнинной местности и хороших погодных условиях) – до 150 м, при неблагоприятных – 50 м и менее.

На каждой станции две точки пикетажа являются *связующими*, а остальные (плюсовые и точки поперечника) — обычно *промежуточными*. Длинные поперечники в условиях сложного рельефа нивелируют отдельными ходами.

Камеральные работы состоят из обработки журналов нивелирования и составления профилей трассы и поперечников. Профиль служит в дальнейшем основой для проектирования сооружения согласно заданным техническим условиям.

#### **4 Изыскания нефте- газо- проводов**

При проектировании промысловых трубопроводов прежде всего выбирается трасса. Для уменьшения затрат трассу намечают прямолинейную с

малым числом пересечений естественных и искусственных препятствий. Если трудно удовлетворить сразу всем этим требованиям, то намечают несколько вариантов трассы и путем сравнения технико-экономических показателей выбирают наиболее выгодную. Самотечные трубопроводы прокладывают с уклоном в сторону движения жидкости, для чего следует использовать рельеф местности.

После выбора начального и конечного пунктов транспортировки нефти или газа приступают к изысканиям кратчайшей трассы трубопровода, которая удовлетворяла бы всем техническим условиям и требовала бы минимальных затрат на строительство.

Первоначально варианты трассы намечают на топокарте, придерживаясь наиболее короткого направления между выбранными пунктами. При этом по возможности стремятся приблизить трассу к существующим железным и автомобильным дорогам, чтобы использовать их при строительстве и эксплуатации трубопровода.

Камеральное трассирование выполняют на топографических картах и планах, масштаб которых зависит от стадии проектирования.

В зависимости от условий местности камеральное трассирование выполняют или *способом попыток*, или *построением линии заданного уклона*.

Способ попыток применяют в равнинной местности на участках вольных ходов. Между фиксированными точками по карте намечают кратчайшую трассу и составляют по ней продольный профиль местности с проектной линией. На основании анализа продольного проектирования выявляют участки, в которых трассу целесообразно сдвинуть вправо или влево, чтобы отметки местности ближе подходили к проектным. Эти участки вновь трассируют и составляют улучшенный проект трассы.

В горных условиях на участках напряженных ходов самым распространенным приемом камерального трассирования является нахождение на топографической карте в заданном направлении предельно допустимого уклона для данной категории трассы или, как его называют, «ход раствором циркуля».

Для составления рабочего чертежа проекта трассы производят полевое трассирование трубопровода в следующем порядке:

- 1) вынесение проекта в натуру, вешение линий;
- 2) определение углов поворота;
- 3) линейные измерения, разбивка пикетажа с ведением пикетажного журнала;
- 4) разбивка круговых и переходных кривых;
- 5) нивелирование трассы, установка вдоль трассы реперов;
- 6) закрепление трассы;
- 7) привязка трассы к пунктам геодезической основы;
- 8) съемка площадок, переходов, пересечений в масштабе 1:500–1:1 000;
- 9) обработка полевых материалов, составление плана трассы в масштабе 1:5 000–1:10 000 и продольного профиля.

По результатам полевого трассирования составляются следующие основные документы:

- 1) пояснительная записка с обоснованием выноса проекта в натуру и согласованием трассы;
- 2) план и продольный профиль трассы, поперечные профили;
- 3) крупномасштабные планы переходов, пересечений станций и других площадок и участков;
- 4) схематические планы отвода земель;
- 5) ведомости искусственных сооружений, пересекаемых трассой линейных сооружений, сноса сооружений и др.;
- 6) ведомости закрепления трассы, прямых и кривых, уравнивания ходов вычислений координат;
- 7) каталоги высот реперов, координат углов поворота, схемы геодезических сетей, чертежи центров и знаков.

## Лекция 15 Тахеометрическая съемка

- 1 Сущность тахеометрической съемки
- 2 Создание сети съемочного обоснования
- 3 Съемка ситуации и рельефа
- 4 Камеральная обработка результатов тахеометрической съемки
- 5 Автоматизация тахеометрической съемки

### 1 Сущность тахеометрической съемки

**Тахеометрическая съемка** – это топографическая (контурно-высотная съемка), в результате которой получают план местности с изображением ситуации и рельефа. Тахеометрическая съемка выполняется самостоятельно для создания планов или цифровых моделей небольших участков местности в крупных масштабах (1:500–1:5000) либо в сочетании с другими видами работ. Ее результаты используют при ведении земельного или городского кадастра, для планировки населенных пунктов, проектирования отводов земель, мелиоративных мероприятий, при изысканиях трасс каналов, железных и автомобильных дорог, линий электропередач, трубопроводов и других протяженных объектов.

Тахеометрическая съемка выполняется с помощью технических теодолитов или специальных приборов – *тахеометров*.

При использовании технических теодолитов сущность тахеометрической съемки сводится к определению пространственных полярных координат ( $\beta$ ,  $\nu$ ,  $D$ ) точек местности и последующему нанесению этих точек на план. При этом горизонтальный угол  $\beta$  между начальным направлением и направлением на снимаемую точку измеряется с помощью горизонтального круга, вертикальный угол  $\nu$  – вертикального круга теодолита, а расстояние до точки  $D$  – дальномером. Таким образом, плановое положение снимаемых точек определяется полярным способом, а превышения точек – методом тригонометрического нивелирования.

Процесс съемки может быть автоматизирован путем использования электронных тахеометров.

Электронные тахеометры можно разделить на две группы: на приборы с визуальным съемом показаний и приборы с автоматическим съемом показаний с угломерных кругов. В первом случае результаты измерений углов вводятся в вычислительное устройство с помощью клавиатуры, во втором случае результаты угловых измерений индицируются на цифровом табло и автоматически вводятся в память ЭВМ. Результаты измерения расстояний в обоих случаях вводятся в ЭВМ автоматически.

## 2 Создание сети съемочного обоснования

Полевым работам при тахеометрической съемке предшествует составление проекта, включающего подбор необходимых картографических материалов, каталогов пунктов планово-высотного обоснования и выбор способа создания съемочной сети в зависимости от объекта съемки, ее масштаба и имеющихся в наличии приборов. Полевые работы при тахеометрической съемке включают в себя *рекогносцировку местности, создание сети съемочного обоснования и съемку ситуации и рельефа.*

*Рекогносцировка* включает в себя знакомство с местностью в районе будущей съемки, отыскание пунктов обоснования и выбор места для закрепления точек съемочной сети. Эти точки следует располагать по возможности на возвышенных местах с хорошим обзором местности с учетом обеспечения взаимной видимости между смежными точками.

Густота точек съемочной сети зависит от масштаба съемки, сложности рельефа, застроенности или залесенности снимаемой территории. Количество точек съемочных сетей на  $1 \text{ км}^2$  незастроенных территорий для планов масштаба 1:1000 должно быть не менее 16, 1:2000 – 12 точек, 1:5000 – 4 точки; на незастроенных территориях при съемке в масштабе 1:500 и на застроенных территориях плотность точек съемочных сетей определяется рекогносцировкой.

Планово-высотную основу тахеометрической съемки составляют пункты государственной геодезической опорной сети, сетей сгущения и съемочной сети. Съемочная геодезическая сеть создается в виде теодолитно-нивелирных ходов – при съемке рельефа с сечением до 1 м, теодолитно-высотных и тахеометрических ходов – при съемке рельефа с сечением через 2 м и более.

Тахеометрические ходы служат для сгущения съемочной сети. Поэтому до начала тахеометрических работ пункты съемочного обоснования должны быть доведены до плотности, обеспечивающей возможность проложения тахеометрических ходов с соблюдением требований.

Точки тахеометрических ходов закрепляются так же, как и в теодолитных ходах. Тахеометрические ходы прокладывают между пунктами опорной геодезической сети и съемочного обоснования, координаты которых известны из более точных измерений. Привязка этих ходов к опорным пунктам выполняется в обычном порядке.

**Съемка теодолитом.** Перед началом измерений выполняют поверки и юстировки теодолита, определяют МО вертикального круга и коэффициент дальномера. Теодолит устанавливают на одной из точек хода в рабочее положение и измеряют высоту прибора  $i$  с точностью до 1 см. На задней и передней точках хода устанавливают рейки.

Измерение горизонтальных углов выполняется одним полным приемом. Длины сторон измеряются с помощью нитяного дальномера. Расхожде-



ние между результатами измерений стороны хода в прямом и обратном направлениях не должно превышать  $1/400$  ее длины.

Вертикальные углы измеряют при двух положениях зрительной трубы (КЛ и КП) в прямом и обратном направлениях. Визирование выполняют на верх рейки либо на круглый отсчет на рейке, отличающийся от высоты прибора  $i$ . Контролем правильности измерений вертикальных углов служит постоянство МО, колебания которого не должны превышать  $1'$ . Здесь же в поле вычисляют для каждой стороны прямое и обратное превышения, которые могут отличаться по абсолютной величине не более чем на 4 см на каждые 100 м горизонтального расстояния.

После производства измерений на станции по созданию съемочного обоснования приступают к съемке ситуации и рельефа.

### **3 Съемка ситуации и рельефа**

Съемка ситуации и рельефа может выполняться одновременно с проложением тахеометрических ходов либо после того, как ходы проложены. В первом случае на каждой станции сначала проводят все измерения, связанные с проложением ходов съемочного обоснования, а затем выполняют съемку ситуации и рельефа.

Съемка местных предметов, контуров и рельефа местности производится, как правило, полярным способом; в исключительных случаях (при съемке недоступных местных предметов) применяется способ угловых засечек. Превышения точек местности определяют тригонометрическим нивелированием; в равнинной местности превышения можно определять горизонтальным лучом, пользуясь теодолитом как нивелиром, т.е. установив визирную ось трубы теодолита в горизонтальное положение. Горизонтальные (полярные) и вертикальные углы измеряют при одном положении зрительной трубы прибора, полярные расстояния – нитяным дальномером.

Вокруг каждой станции намечают реечные (пикетные) точки, необходимое количество которых зависит от характера рельефа, сложности ситуации и масштаба съемки. Реечные точки выбирают на характерных точках рельефа – на вершинах и подошвах холмов, на дне и бровках котловин и оврагов, по линиям водоразделов и водосливов (талвегов), на перегибах скатов и седловинах, а также в характерных точках контуров и у местных предметов. Чем крупнее масштаб съемки, меньше принятая высота сечения рельефа и сложнее характер снимаемой местности, тем больше должно быть число реечных точек.

Для изображения рельефа устанавливают рейку на всех точках перегибов местности по характерным линиям рельефа с таким расчетом, чтобы скат между соседними реечными точками можно было считать равномерным, допуская колебания в пределах не более половины высоты сечения рельефа горизонталями.

#### 4 Камеральная обработка результатов тахеометрической съемки

Камеральные работы при тахеометрической съемке включают в себя: 1) проверку полевых журналов измерений; 2) вычисление плановых и высотных координат ( $x, y, H$ ) точек теодолитно-нивелирных, теодолитно-высотных и тахеометрических ходов; 3) вычисление отметок реечных точек на каждой станции; 4) составление топографического плана местности.

При проверке записей и вычислений в полевых журналах заново вычисляют горизонтальные и вертикальные углы, горизонтальные проложения, прямые, обратные и средние превышения точек ходов. Обнаруженные погрешности устраняются путем соответствующих исправлений.

Вычисление и увязка плановых координат ( $x, y$ ) точек ходов выполняются так же, как и в теодолитных ходах.

После окончания вычислительных работ переходят к составлению плана съемки.

#### 5 Автоматизация тахеометрической съемки

Частичная или полная автоматизация тахеометрической съемки возможна при использовании электронных тахеометров.

При съемке электронный тахеометр устанавливается на съемочных точках, а на пикетных точках – специальные вешки с отражателями, входящими в комплект тахеометра. При наведении на отражатели вешки в автоматическом режиме определяются горизонтальные и вертикальные углы, а также расстояние до смежных съемочных и пикетных точек. С помощью микроЭВМ тахеометра производят обработку результатов измерений и в итоге получают приращения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  координат и превышения  $h$  на смежные съемочные и пикетные точки. При этом автоматически учитываются все поправки в измеряемые расстояния и за наклон вертикальной оси прибора в измеряемые углы. Результаты измерений могут быть введены в специальное запоминающее устройство.

В дальнейшем из накопителя или с электронного носителя информация поступает в ЭВМ, которая по специальной программе производит окончательную обработку результатов измерений, включающую в себя вычисление координат съемочных и пикетных точек, уравнивание съемочного хода и другие вычисления, необходимые для графического построения топографического плана или цифровой модели местности. Графическое построение топографического плана осуществляется графопостроителем, соединенным с ЭВМ.

Электронно-блочная тахеометрия. Из современных автоматизированных методов топографических съемок получила распространение электронно-блочная тахеометрия. Сущность метода состоит в том, что объект съемки делится на отдельные участки – блоки, в пределах каждого из которых съем-

ка выполняется с одной установки тахеометра. Связь между блоками обеспечивается с помощью связующих точек, выбираемых в зонах перекрытия съемок, выполняемых с двух смежных станций. Для совмещения съемок в отдельных блоках в единый сводный план объекта их число должно быть не менее двух по каждой из смежных сторон. Поэтому в программе измерений должно быть предусмотрено измерение углов и длин линий на исходные пункты и связующие точки смежных блоков.

## **2 Практический раздел ЭУМК**

### **Методические рекомендации для выполнения практических работ по дисциплине «Геодезия и маркшейдерское дело»**

Практическое занятие 1 Определение прямоугольных и географических координат точек на топографических картах

Практическое занятие 2 Ориентирование линий на местности

Практическое занятие 3 Обработка результатов угломерной съемки

Практическое занятие 4 Вычисление площадей полигона

## Практическое занятие 1 Определение прямоугольных и географических координат точек на топографических картах

### Задание

По топографической карте определить географические и прямоугольные координаты объекта (задание выдается преподавателем).

### Методика выполнения задания

**Прямоугольными координатами** называются линейные величины, определяющие относительное положение точки на плоскости. Такими величинами являются абсцисса  $X$  (расстояние в метрах от экватора до данной точки) и ордината  $Y$  (расстояние от осевого меридиана зоны до данной точки).

По изображенной на топографических картах координатной (километровой) сетке можно находить прямоугольные координаты точек и наносить точки по заданным координатам. Для определения прямоугольных координат точки пользуются измерителем и масштабом.

Чтобы найти абсциссу точки, отрезок, равный длине от точки (по перпендикуляру) до ближайшей южной (нижней) координатной линии, вводят в раствор циркуля-измерителя и в масштабе карты высчитывают это расстояние в метрах. Полученную величину приписывают справа к подписи южной координатной линии.

Для нахождения ординаты измеряют расстояние в метрах от точки до ближайшей западной (левой) координатной линии и его величину приписывают справа к подписи западной линии (рисунок 1).

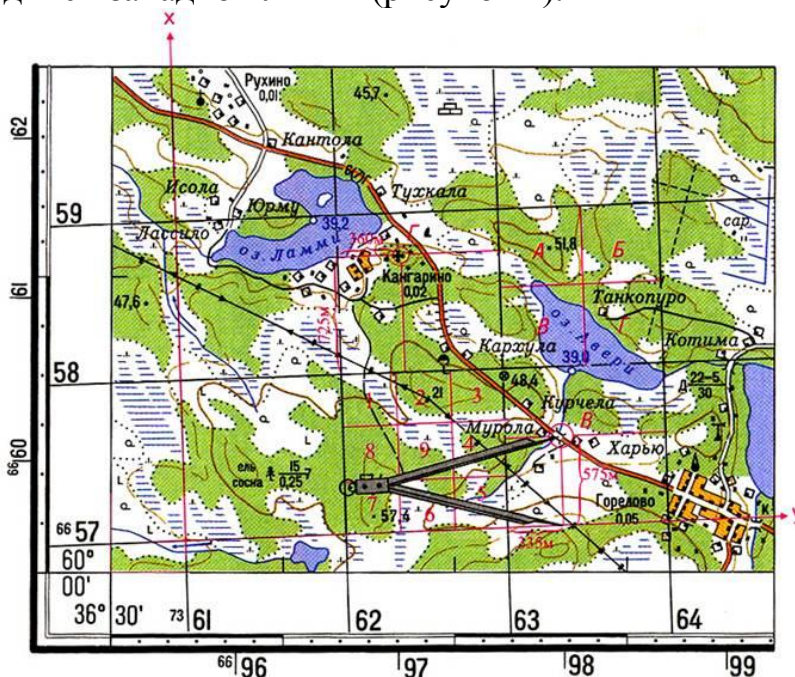


Рисунок 1 – Определение прямоугольных координат

Например, прямоугольные координаты точки  $B$  (рисунок 1). Для этого надо: записать  $X$  – оцифровку нижней километровой линии квадрата, в котором находится точка  $B$ , т.е. 6657 км;

– измерить по перпендикуляру расстояние от нижней километровой линии квадрата до точки  $B$  и, пользуясь линейным масштабом карты, определить величину этого отрезка в метрах;

– сложить измеренную величину 575 м с значением оцифровки нижней километровой линии квадрата:  $X = 6657000 + 575 = 6657575$  м.

Определение ординаты  $Y$  производят аналогично:

– записать значение  $Y$  – оцифровку левой вертикальной линии квадрата, т.е. 7363;

– измерить по перпендикуляру расстояние от этой линии до точки  $B$ , т.е. 335 м;

– прибавить измеренное расстояние к значению оцифровки  $Y$  левой вертикальной линии квадрата:  $Y = 7363000 + 335 = 7363335$  м.

**Географические координаты** – это угловые величины: долгота  $\lambda$  и широта  $\varphi$ .

На топографических картах минутные отрезки рамки точками разделены на 6 частей, расстояние между которыми равно  $10''$  (рисунок 2). Определение широты и долготы производится с помощью циркуля-измерителя или треугольника.

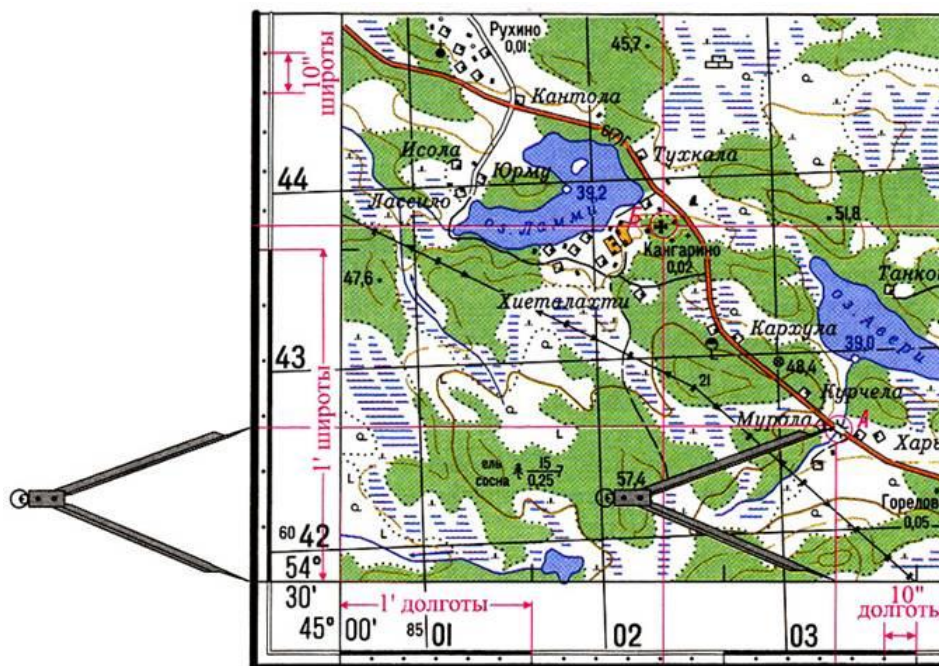


Рисунок 2 – Определение географических координат

Например, чтобы определить координаты точки  $A$  (рисунок 2) необходимо с помощью циркуля-измерителя измерить кратчайшее расстояние от точки  $A$  до южной рамки карты, затем приложить измеритель к западной рамке и определить количество минут и секунд в измеренном отрезке, сложить полученное (измеренное) значение минут и секунд ( $0'27''$ ) с широтой

юго-западного угла рамки –  $54^{\circ}30'$ . Широта точки на карте будет равна:  $54^{\circ}30' + 0'27'' = 54^{\circ}30'27''$ .

Долгота определяется аналогично. Измеряют с помощью циркуля-измерителя кратчайшее расстояние от точки  $A$  до западной рамки карты, прикладывают циркуль-измеритель к южной рамке, определяют количество минут и секунд в измеренном отрезке ( $2'35''$ ) складывают полученное (измеренное) значение с долготой юго-западного угла рамки –  $45^{\circ}00'$ . Долгота точки на карте будет равна:  $45^{\circ}00' + 02'35'' = 45^{\circ}02'35''$ .

### **Контрольные вопросы**

1 Охарактеризуйте основные элементы систем географических и плоских прямоугольных координат.

2 Охарактеризуйте основные элементы пространственной и плоской полярной систем координат.

3 Назначение и принцип построения проекции Гаусса – Крюгера.

4 Какие высоты называются абсолютными и относительными? Что называется превышением?

## Практическое занятие 2 Ориентирование линий на местности

### Задание

1) Определить истинный азимут линии, если известен магнитный азимут этой линии; 2) Определить магнитный азимут линии, если известен истинный азимут; 3) Определить дирекционный угол по известному магнитному азимуту; 4) Определить магнитный азимут по известному дирекционному углу; 5) Определить румб линии по заданному азимуту; 6) Определить азимут по заданному румбу; 7) Решение заданий показать схематично на чертеже (например, как показано на рисунке 3).

### Методика выполнения задания

Для перехода от магнитного азимута к истинному и обратно нужно знать величину склонения и его знак (рисунок 3):

$$A_{\text{и}} = A_{\text{м}} + (\pm\delta); A_{\text{м}} = A_{\text{и}} - (\pm\delta).$$

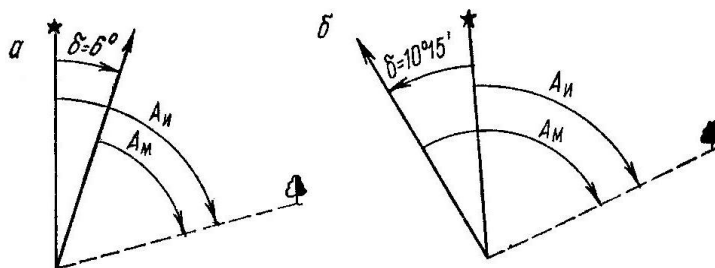


Рисунок 3 – Перевод азимута:

а – истинного в магнитный, б – магнитного в истинный.

### Примеры:

**Задание 1.** Перевести истинный азимут в магнитный. Дано:  $A_{\text{и}} = 150^{\circ}00'$ ,  $\delta = +6^{\circ}00'$ .

Решение:  $A_{\text{м}} = 150^{\circ}00' - (+6^{\circ}00') = 144^{\circ}00'$ .

**Задание 2.** Перевести магнитный азимут в истинный. Дано:  $A_{\text{м}} = 152^{\circ}10'$ ,  $\delta = -10^{\circ}15'$ .

Решение:  $A_{\text{и}} = 152^{\circ}10' + (-10^{\circ}15') = 141^{\circ}55'$ .

Магнитный азимут равен алгебраической разности дирекционного угла и поправки направления, обозначаемой буквой П:

$$A_{\text{м}} = \alpha - \Pi$$

$$\Pi = (\pm\delta) - (\pm\gamma)$$

где  $\delta$  – магнитное склонение,  $\gamma$  – сближение меридианов.

**Задание 3.** Определить магнитный азимут  $A_{\text{м}}$ . Дано:  $\alpha = 45^{\circ}00'$ ;  $\delta = +4^{\circ}20'$ ;  $\gamma = -3^{\circ}15'$  (рисунок 4).

Решение.  $A_{\text{м}} = 45^{\circ}00' - [+4^{\circ}20' - (-3^{\circ}15')] = 37^{\circ}25'$ .



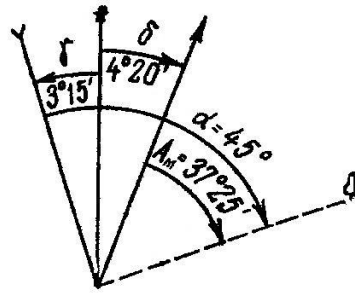


Рисунок 4 – Определение магнитного азимута по дирекционному углу

На рисунке 5 приведено шесть случаев взаимного расположения направлений магнитного меридиана и вертикальной линии координатной сетки относительно истинного меридиана.

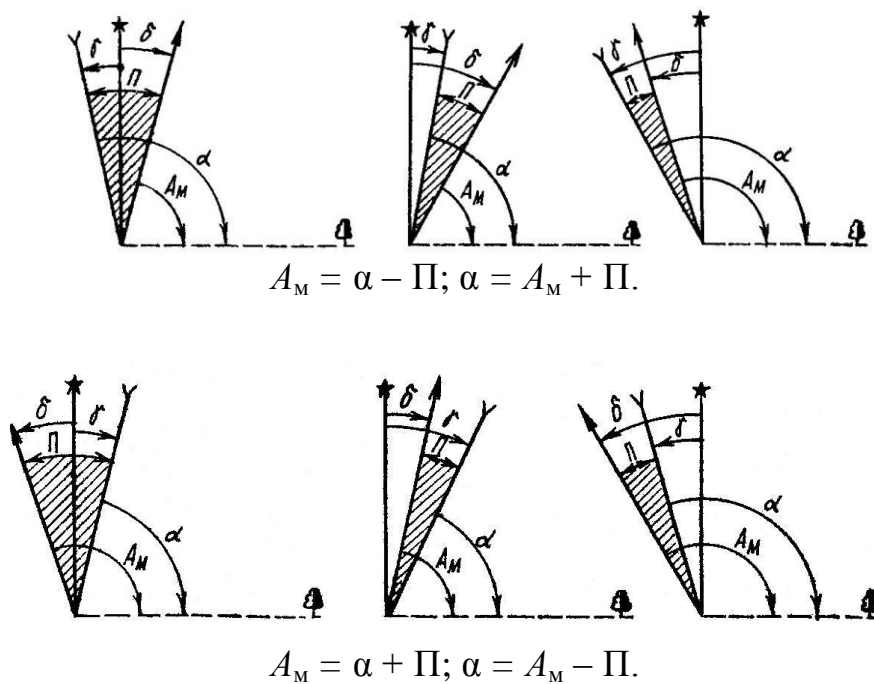


Рисунок 5 – Переход от дирекционного угла к магнитному азимуту и обратно

Зависимость между азимутами и румбами представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость между азимутами и румбами

Четверть	Связь между азимутами и румбами	
I – СВ	$r_1 = A_1$	$A_1 = r_1$
II – ЮВ	$r_2 = 180^\circ - A_2$	$A_2 = 180^\circ - r_2$
III – ЮЗ	$r_3 = A_3 - 180^\circ$	$A_3 = 180^\circ + r_3$
IV – СЗ	$r_4 = 360^\circ - A_4$	$A_4 = 360^\circ - r_4$

## Контрольные вопросы

1 Что означает «ориентировать линию»? Какие направления в геодезии принимают за начальные для ориентирований линий?

2 Что называется географически азимутом? В чем заключается различие прямого и обратного направлений азимута?

3 Какой угол называется дирекционным? Запишите формулу связи географического азимута и дирекционного угла.

4 Что называется магнитным азимутом и магнитным склонением? Запишите формулу связи географического азимута и магнитного азимута; магнитного азимута и дирекционного угла.

5 Какой угол называется румбом? Запишите формулы связи румбов с соответствующими азимутами.

## Практическое занятие 3 Обработка результатов угломерной съемки

### Задание

Выполнить математическую обработку угломерной съемки. По результатам вычислений построить план теодолитного хода.

### Методика выполнения задания

1. Определить угловую невязку теодолитного хода, увязать углы полигона.
2. По заданному дирекционному углу стороны 1–2 вычислить дирекционные углы и румбы сторон полигона.
3. Определить приращения координат хода и их невязки.
4. При допустимой относительной невязке (не свыше 1/1000) распределить невязки в приращениях координат.
5. По исправленным приращениям и исходным координатам вершины № 1 полигона вычислить координаты остальных вершин.

Все результаты вычислений занести в ведомость вычисления координат, приложить к ней выполненные расчеты.

6. Построить координатную сетку со сторонами квадратов 5 см и построить план теодолитного хода по координатам. Масштаб плана 1:1000. Формат А3.

Обработка материалов угломерной съемки состоит из двух частей: вычислительной и графической.

### Вычисление координат

В вычислительную часть обработки материалов угломерной съемки входят: увязка внутренних углов, вычисление азимутов (дирекционных углов), румбов сторон теодолитного хода, горизонтальных проложений линий, приращений координат и координат точек. Результаты полевых измерений и вычислений записывают в ведомость вычисления координат (табл. 2).

**Определение угловой невязки и увязка внутренних углов.** Для определения угловой невязки подсчитывают измеренную сумму углов и подписывают ее внизу второй графы (рисунок 6).

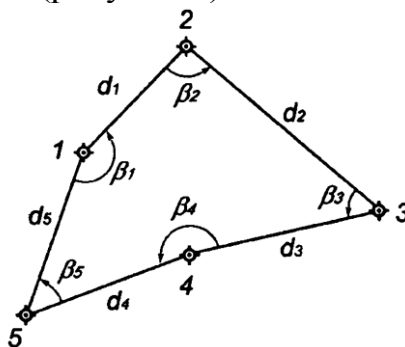


Рисунок 6 – Схема полигона

Сумма измеренных углов:

$$\sum \beta_{\text{изм}} = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n.$$

В нашем примере измеренная сумма углов равна  $540^\circ 02', 1$ .

Таблица 2 – Ведомость вычисления координат вершин замкнутого теодолитного хода

№ точек	Горизонтальные углы				Дирекционные углы сторон, $\alpha$		Румбы		Мера линий, $d, м$	Приращение координат, м				Координаты		№ точек	
	измер. $\beta_{\text{изм}}$	$\beta_{\text{изм}}$	испр. $\beta_{\text{изм}}$	$\beta_{\text{изм}}$	$\alpha$	$\alpha$	назв.	$\alpha$		вычисленные $\Delta x$	$\Delta y$	исправленные $\Delta x$	$\Delta y$	x	y		
1													6327,12	3741,10	1		
2	99	-0,4 27,8	99	27,4	34	15,8	СВ	34	15,8	140,91	+0,04 +116,46	+0,03 +79,33	+116,50	+79,36	6443,62	3820,46	2
3	29	-0,4 45,5	29	45,1	114	48,4	ЮВ	65	11,6	390,67	+0,12 -163,91	+0,1 +654,62	-163,79	+354,72	6279,83	4175,18	3
4	197	-0,4 56,6	197	56,2	265	03,3	ЮЗ	85	03,3	352,72	+0,1 -30,40	+0,09 -351,41	-30,30	-351,32	6249,53	3823,86	4
5	43	-0,5 58,2	43	57,7	247	07,1	ЮЗ	67	07,1	153,58	+0,04 -59,71	+0,03 -141,50	-59,66	-141,47	6189,87	3682,39	5
1	168	-0,4 54,0	168	53,6	23	09,4	СВ	23	09,4	149,23	+0,04 +137,21	+0,03 +58,68	+137,25	+58,71	6327,12	3741,10	1
2					34	15,8	СВ	34	15,8								
					Контроль										Контроль		

$$\sum \beta_{\text{изм}} = 540^\circ 02', 1$$

$$P = 1187,11 \text{ м}$$

$$\sum \Delta x = 0 \quad \sum \Delta y = 0$$

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 540^\circ 00'$$

$$f_x = -0,35 \text{ м} \quad f_y = -0,28 \text{ м}$$

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 540^\circ 00'$$

$$f_{\text{факт}} = \sqrt{0,35^2 + 0,28^2} = 0,45 \text{ м}$$

$$f_{\beta} = +0^\circ 02', 1$$

$$f_{\text{теор}} = \frac{0,45}{1187,11} = \frac{1}{2600}$$

$$f_{\beta_{\text{факт}}} = 1' \sqrt{5} = 2,2'$$

$$f_{\text{факт}} = \frac{1}{2000}$$

Теоретическую сумму углов ( $\sum \beta_{\text{теор}}$ ) вычисляют по формуле:

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

где  $n - 2$  – число углов полигона.

Если в полигоне измерены внешние углы:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ (n + 2)$$

Так, для нашего пятиугольника (табл. 2):

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ 00' \cdot 3 = 540^\circ 00'$$

Разность между измеренной и теоретической суммой углов полигона называется **фактической угловой невязкой** хода ( $f\beta$ ), т.е.:

$$f\beta = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}}$$

В нашем примере:  $f\beta = 540^\circ 02', 1 - 540^\circ 00' = +0^\circ 02', 1$

Полученная угловая невязка не должна быть больше допустимой. Допустимая невязка определяется по формуле:

$$f\beta_{\text{доп}} = \pm 2t\sqrt{n},$$

где  $f\beta_{\text{доп}}$  – предельная допустимая невязка;  $t$  – точность верньера теодолита (в нашем примере  $t = 30''$ );  $n$  – число углов полигона.

Таким образом:

$$f\beta_{\text{доп}} = \pm 1'\sqrt{n},$$

Для нашего примера допустимая угловая невязка будет равна:

$$f\beta_{\text{доп}} = \pm 1'\sqrt{5} = 2,2'$$

Если угловая невязка не превышает допустимой она распределяется по измеренным углам полигона поровну с обратным знаком. Поправка в каждый угол:

$$\delta_{\beta} = \frac{f_{\beta_{\phi}}}{n}$$

При выполнении условия угловая невязка с обратным знаком вводится по частям в виде поправок в измеренные углы. Вначале желательно ввести поправки в углы, имеющие доли минут, округляя их таким путем до целых минут. При этом следует большие поправки вводить в углы с короткими сторонами, так как в этих углах возможно возникновение самых грубых ошибок, появляющихся, при измерении углов – за центрирование и наведение.

Поправки с округлением до десятых долей минуты выписывают со своими знаками в ведомость над значениями соответствующих измеренных углов (табл. 2). Сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком. Исправленные значения углов получаются в результате введения поправок в вычисленные углы, и их сумма должна быть равна теоретической.

**Вычисление азимутов (дирекционных углов).** Измеренный магнитный азимут первого направления равен  $117^{\circ}45'$ . Магнитный азимут можно перевести в дирекционный угол. По первоначальному дирекционному углу (азимуту) и исправленным внутренним углам участка вычисляют дирекционные углы (азимуты) всех остальных линий по формуле:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^{\circ} - \beta_n,$$

где  $\alpha_n$  – дирекционный угол последующей линии;  $\alpha_{n-1}$  – дирекционный угол предыдущей линии;  $\beta_n$  – угол между этими линиями, правый по ходу.

Согласно формуле, дирекционный угол последующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии плюс  $180^{\circ}$  и минус внутренний угол

между этими линиями (лежащий вправо по ходу часовой стрелки) (рисунок 7):

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2 = 117^\circ 45' + 180^\circ - 80^\circ 40' = 217^\circ 05'.$$

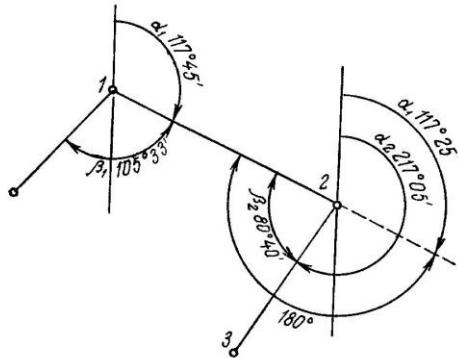


Рисунок 7 – Вычисление дирекционных углов

Для контроля за правильностью вычисления дирекционных углов (азимуты) в конце вычислений находят первоначальный дирекционный угол. Если будет получено значение, равное исходному дирекционному углу, значит, вычисления сделаны правильно. Вычисленные дирекционные углы (азимуты) переводят в румбы. Для этого нужно знать зависимость между румбами и дирекционными углами (азимутами) (рисунок 8).

В 1-й четверти:  $r_1 = \alpha_1$ ; во 2-й:  $r_2 = 180^\circ - \alpha_2$ ; в 3-й:  $r_3 = \alpha_3 - 180^\circ$ ; в 4-й:  $r_4 = 360^\circ - \alpha_4$ .

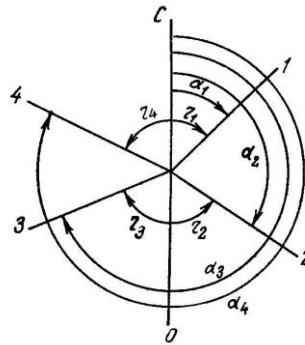


Рисунок 8 – Зависимость между румбами и дирекционными углами (азимутами)

В нашем примере дирекционный угол равен  $34^\circ 15,8'$ , следовательно, румб будет равен: СВ:  $34^\circ 15,8'$ .

Вычисление горизонтальных проложений сторон. В результате обработки линейных измерений вычисляют горизонтальные проекции сторон. Если при измерении длин сторон определялись углы наклона, то горизонтальные проекции сторон могут быть найдены следующим образом:

$$d = D \cos v.$$

**Вычисление приращений координат.** Приращения координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  находят по формулам прямой геодезической задачи:

$$\Delta x = d \cos \alpha(r); \Delta y = d \sin \alpha(r).$$

где  $d$  – горизонтальное проложение линии местности;  $\alpha(r)$  – величина дирекционного угла (румба).

Знаки приращений координат определяются с учетом четверти, в которой лежит данное направление, т.е. по дирекционному углу стороны (табл. 3).

Таблица 3 – Знаки координат

Угол направления	Четверть	Знаки координат	
		X	Y
0–90	I – СВ	+	+
90–180	II – ЮВ	–	+
180–270	III – ЮЗ	–	–
270–360	IV – СЗ	+	–

**Невязка в приращениях координат, ее допустимость и распределение.** В замкнутом полигоне сумма всех приращений координат (в отдельности по  $\Delta x$  и  $\Delta y$ ) должна равняться нулю. В результате ошибок измерений, как правило, эти суммы не равны нулю, а полученные величины называются **невязками в приращении координат**:

$$f_x = \sum \Delta x; f_y = \sum \Delta y.$$

Для получения этих невязок алгебраически суммируют значения  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Результаты записывают отдельно под вычисленными приращениями.

В нашем примере невязки равны:  $\sum \Delta x = f_x = -0,35$  м,  $\sum \Delta y = f_y = -0,28$  м.

В результате этих невязок полигон, который должен быть замкнутым, окажется разомкнутым на величину отрезка, называемую **абсолютной линейной невязкой хода** ( $f_{\text{абс}}$ ).

Абсолютную величину линейной невязки определяют по формуле:

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(\sum \Delta x^2) + (\sum \Delta y^2)},$$

В нашем примере:  $f_{\text{абс}} = \sqrt{(-0,35)^2 + (-0,28)^2} = 0,45$  м.

Сама по себе величина абсолютной невязки не может характеризовать точность проведенных работ. Для оценки допустимости абсолютной невязки вычисляют *относительную линейную невязку*, т.е. отношение абсолютной невязки к периметру:

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{a\bar{b}c}}{P} = \frac{1}{P \div f_{a\bar{b}c}} = \frac{1}{N}.$$

где  $P$  – периметр полигона.

$$\text{В нашем примере: } f_{\text{отн}} = \frac{0,45}{1187,11} = \frac{1}{1187,11 \div 0,45} = \frac{1}{2640}.$$

Допустимость невязки в приращениях определяется заданной точностью и условиями местности. При съемках в зависимости от условий местности допустимость невязки изменяется от 1/1000 до 1/3000; 1/1000 – при неблагоприятных условиях измерений; 1/2000 – при средних и 1/3000 – при благоприятных условиях измерений.

Если полученная невязка будет больше допустимой, следует проверить вычисления или искать ошибки в полевых измерениях. Ошибки всегда следует искать в длинах, линиях, параллельных направлению невязки, и румбах линий, перпендикулярных ему. По знакам невязки можно определить ее направление.

В тех случаях, когда полученная невязка допустима (как в нашем примере), величины  $\sum \Delta x$  и  $\sum \Delta y$  распределяются с обратным знаком пропорционально длинам сторон полигона (но не приращений). Поправки в приращения координат определяют по формулам:

$$\delta x_i = -\frac{f_x}{P} d_i; \delta y_i = -\frac{f_y}{P} d_i.$$

где  $P$  – длина теодолитного хода (периметр) в сотнях метров;  $d_i$  – длина каждой стороны хода в сотнях метров.

После их распределения следует сделать проверку, т.е. сложить все поправки. Если их сумма будет равна невязке с обратным знаком, значит, распределение невязки выполнено правильно. Поправки выписывают над каждым приращением (табл. 1, графа «Приращение координат, вычисленные»).

Затем вычисляют исправленные приращения координат, прибавляя поправки к вычисленным приращениям со знаком, обратным знаку невязки:

$$\Delta x_{\text{испр}i} = \Delta x_i + \delta x_i; \Delta y_{\text{испр}i} = \Delta y_i + \delta y_i.$$

В исправленных приращениях сумма должна равняться нулю, т.е. надо выполнить равенства  $\sum \Delta x_{\text{испр}} = 0$  и  $\sum \Delta y_{\text{испр}} = 0$ .

**Вычисление координат.** По исправленным приращениям и координатам начальной точки последовательно вычисляют координаты вершин полигона:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_{\text{испр}}, y_{i+1} = y_i + \Delta y_{\text{испр}}.$$



где  $i+1$  – последующая точка,  $i$  – начальная (предыдущая) точка.

Для вычисления координат необходимо знать координаты первой точки. Они могут быть определены посредством привязки к пунктам геодезической основы или взяты условно.

В нашем примере координаты условные ( $x_1 = 6327,12$ ,  $y_1 = 3741,10$ ). Следовательно:

$$x_2 = x_1 + (\pm\Delta x_{1-2}) = 6327,12 + (+116,5) = +6443,62;$$

$$y_2 = y_1 + (\pm\Delta y_{1-2}) = 3741,1 + (+79,36) = +3820,46;$$

$$x_3 = x_2 + (\pm\Delta x_{2-3}) = +6443,62 + (-163,79) = +6279,83;$$

$$y_3 = y_2 + (\pm\Delta y_{2-3}) = +3820,46 + (+354,72) = +4175,18.$$

Аналогично вычисляют координаты всех вершин теодолитного хода.

Для контроля правильности вычисления координат нужно к координате последней точки прибавить приращение последней линии, в результате будет получена исходная координата, т.е.

$$x_1 = x_5 + (\pm\Delta x_{5-1}) = +6189,87 + (+137,25) = 6327,12;$$

$$y_1 = y_5 + (\pm\Delta y_{5-1}) = +3682,39 + (+58,71) = 3741,10.$$

### Графическое оформление результатов теодолитной съемки

Для построения координатной сетки можно использовать линейку и измеритель (рисунок 9). На листе бумаги проводят две взаимно пересекающиеся линии. Из точки пересечения  $O$  по линиям откладывают равные отрезки  $OA=OC=OB=OD$ . Полученный прямоугольник  $ABCD$  и будет исходным для построения координатной сетки. Из точек  $A$  и  $B$  вправо откладывают отрезки длиной 10 см. Аналогичная разбивка делается и из точек  $A$  и  $D$  вверх. Появившиеся на противоположных сторонах прямоугольника точки соединяют, получится координатная сетка. После выверки правильности построения сетку вычерчивают синим цветом, а вспомогательные линии убирают.

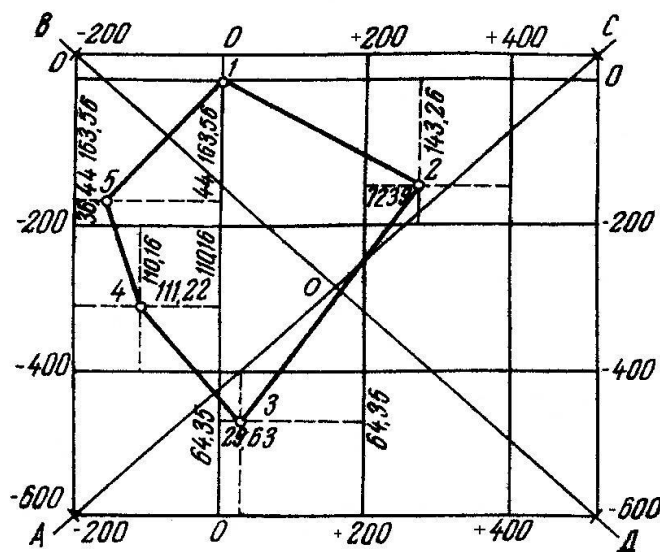


Рисунок 9 – Построение координатной сетки и нанесение вершин полигона по координатам

Чтобы определить размеры листа бумаги, необходимого для построения плана в заданном масштабе, выбирают самые большие и самые малые значения  $x$  и  $y$ . Расстояния между этими точками (в масштабе) укажут на размеры плана и необходимое количество квадратов сетки координат. Сетку координат необходимо подписать цифрами. Делается это таким образом, чтобы полигон разместился на листе бумаги. Крайние линии сетки должны быть подписаны цифрами, близкими по своим значениям к координатам самых больших и самых малых точек.

При нанесении точек по координатам вначале определяется квадрат, в котором должна размещаться точка. Если координаты условные и  $x$  и  $y$  первой точки равны 0, то первая точка находится на пересечении линий координатной сетки ( $x = 0, y = 0$ ). Вторая и последующие точки строятся таким образом. По оцифровке сетки находится тот квадрат, внутри которого будет располагаться строящаяся точка.

Положительные значения координаты  $x$  откладываются к северу, а отрицательные – к югу по своим осям. Соответственно положительные значения  $y$  откладываются к востоку, отрицательные – к западу.

Правильность нанесения точки контролируется по направлению (румбу) линии и ее длине. Раствором циркуля берут горизонтальное проложение линии ( $d$ ) и сравнивают с нанесенной на плане.

На плане рядом с линиями теодолитных ходов указывают румбы и проложения линий (рисунок 10).

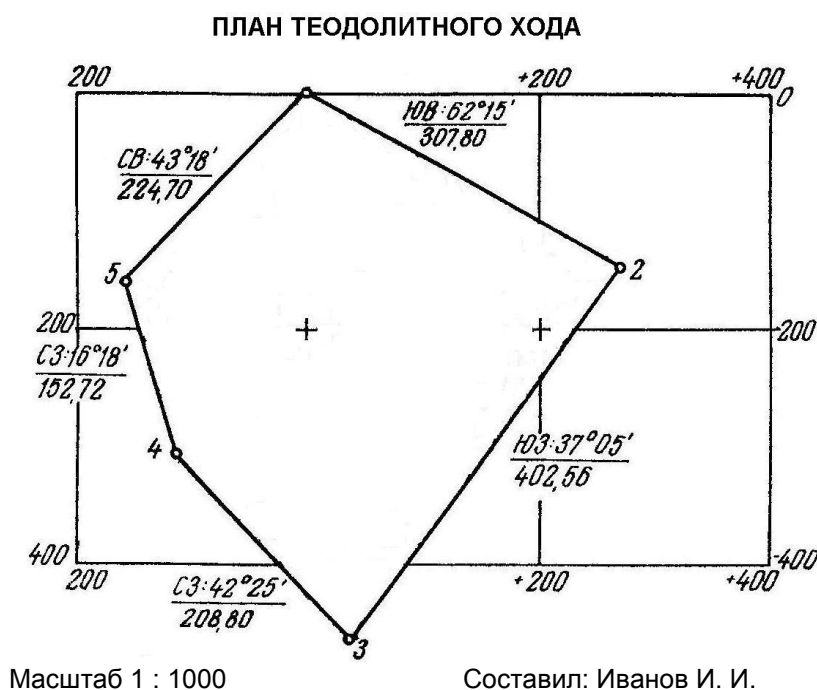


Рисунок 10 – Образец оформления плана теодолитного хода

## **Контрольные вопросы**

- 1 Опишите принцип измерения горизонтальных углов на местности.
- 2 Что называется теодолитом? Охарактеризуйте основные конструктивные элементы оптических и электронных (цифровых) теодолитов.
- 3 Что называется «теодолитной съемкой» и «теодолитным ходом»? Назовите виды теодолитных ходов.
- 4 Охарактеризуйте основные этапы работ при прокладке теодолитных ходов.
- 5 Опишите методику измерения горизонтальных углов способом приемов.
- 6 В чем заключается сущность привязки теодолитных ходов? Опишите наиболее характерные случаи привязки теодолитных.
- 7 Опишите способы съемки ситуации местности при проложении теодолитных ходов.
- 8 Опишите методику проведения камеральных работ при теодолитной съемке.

## Практическое занятие 4 Вычисление площадей полигона

### Задание

Определить площадь полигона различными способами.

### Методика выполнения задания

#### 1 Вычисление площади полигона геометрическим (графическим) способом

Геометрический способ определения площади применяется для небольших участков. На плане сложный контур  $ABCDEK$  разделяют на простые геометрические фигуры (рисунок 11). В трапеции  $ABEK$  измеряют основания  $a$  и  $b$ , высоту  $h$ , а в треугольниках  $BCD$  и  $BDE$  измеряют основания  $a_1$  и  $a$ , высоты  $h_1$  и  $h_2$ .

Площадь  $P$  участка равна  $P_1 + P_2 + P_3$ , где  $P_1 = h(a + b)/2$ ;  $P_2 = a_1h_1/2$ ;  $P_3 = ah_2/2$ .

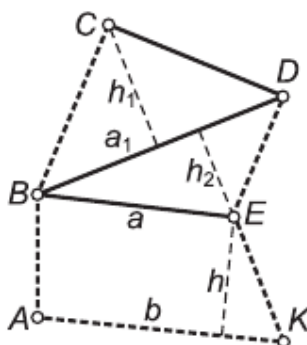


Рисунок 11 – Определение площади полигона геометрическим способом

### Пример.

**Задание.** Вычислить площадь полигона с шестью вершинами (рисунок 12). Масштаб 1:1 000.

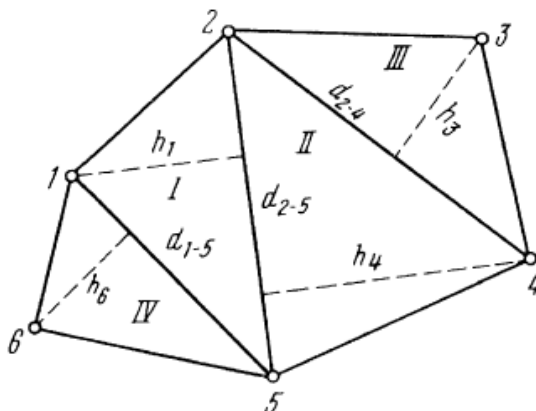


Рисунок 12 – Схема определения площади полигона графическим способом

**Решение:**

Полигон (шестиугольник) разбиваем на треугольники (в данном примере их 4). Пользуясь масштабом, определяем высоту  $h$  и основание  $d$  каждого треугольника:  $h_1 = 37$  мм;  $h_4 = 57$  мм;  $h_3 = 303$  мм;  $h_6 = 28$  мм;  $d_{2-5} = 73$  мм;  $d_{2-4} = 80$  мм;  $d_{1-5} = 60$  мм.

В масштабе 1:1 000 эти размеры на местности будут соответственно равны:  $h_1 = 37$  м;  $h_4 = 57$  м;  $h_3 = 303$  м;  $h_6 = 28$  м;  $d_{2-5} = 73$  м;  $d_{2-4} = 80$  м;  $d_{1-5} = 60$  мм.

Площадь каждого треугольника:  $S = dh/2$ .

$$S_1 = 73 \times 37 / 2 = 1350,5 \text{ м}^2; S_3 = 30 \times 80 / 2 = 1200 \text{ м}^2;$$

$$S_2 = 57 \times 73 / 2 = 2080,5 \text{ м}^2; S_4 = 28 \times 60 / 2 = 840 \text{ м}^2$$

Определяют площадь всего полигона как сумму площадей треугольников:

$$S_{\text{пол}} = \sum_1^n S_{\Delta}.$$

$$S_{\text{пол}} = 1350,5 + 2080,5 + 1200 + 840 = 5471 \text{ м}^2 = 0,547 \text{ га}.$$

## 2 Вычисление площади полигона механическим способом (с помощью квадратной палетки)

Измерения с помощью этого способа позволяют определять площади участков практически любой формы (фигур, имеющих криволинейные контуры).

Палетка представляет собой прозрачную основу, на которой нанесена сетка квадратов с известной стороной (рисунок 13).

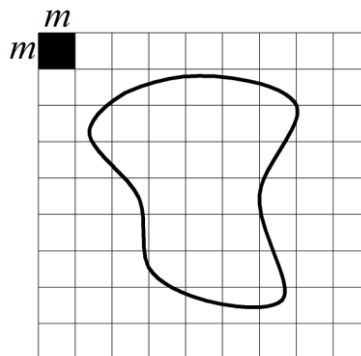


Рисунок 13 – Квадратная палетка

При использовании квадратной палетки для данного картографического материала определяют площадь элементарной ячейки (квадрата). Например, сторона квадрата ( $m$ ) равна 5 мм, масштаб карты 1:10000. В этом случае сторона квадрата на местности будет равна 50 м, а площадь ( $S_0$ ) – 2500 м<sup>2</sup>. Палетку накладывают произвольно на фигуру и определяют число полных квадратов ( $N$ ) и число всех неполных квадратов ( $n$ ). Площадь определяют по формуле:

$$S = 0,5(2N + n)S_0.$$

### 3 Вычисление площади полигона аналитическим способом (по координатам его вершин)

#### Пример.

**Задание.** Определить площадь полигона, координаты вершин которого даны:

$$x_1 = +325,00 \text{ м}; y_1 = +650,00 \text{ м};$$

$$x_2 = +450,76 \text{ м}; y_2 = +731,10 \text{ м};$$

$$x_3 = +378,75 \text{ м}; y_3 = +846,12 \text{ м};$$

$$x_4 = +251,74 \text{ м}; y_4 = +775,90 \text{ м}.$$

#### Решение:

Площадь полигона, если его вершины обозначены по часовой стрелке, вычисляются по формулам:

$$S = 0,5 \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}); S = 0,5 \sum_1^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1}),$$

где  $n$  – число вершин полигона;  $i$  принимает значения от 1 до  $n$ .

1. Определяем разность координат  $y_{i+1} - y_{i-1}$ , придавая значения  $i$  от 1 до 4:

$$y_2 - y_4 = +731,10 - 775,90 = -44,80$$

$$y_3 - y_1 = +846,12 - 650,00 = +196,12$$

$$y_4 - y_2 = +775,90 - 731,10 = +44,80$$

$$y_1 - y_3 = +650,00 - 846,12 = -196,12$$

2. Определяем разность координат  $x_{i-1} - x_{i+1}$ :

$$x_4 - x_2 = +251,74 - 450,76 = -199,02$$

$$x_1 - x_3 = +325,00 - 378,75 = -53,75$$

$$x_2 - x_4 = +450,76 - 251,74 = +199,02$$

$$x_3 - x_1 = +378,75 - 325,00 = +53,75$$

3. Определяем произведения  $x_i(y_{i+1} - y_{i-1})$  и  $y_i(x_{i-1} - x_{i+1})$ :

$$x_1(y_2 - y_4) = +325,00(-44,80) = -14560,0$$

$$x_2(y_3 - y_1) = +450,76(+196,12) = +88403,0$$

$$x_3(y_4 - y_2) = +378,75(+44,80) = +16968,0$$

$$x_4(y_1 - y_3) = +251,74(-196,12) = \underline{-49371,2}$$

$$41439,8$$

$$y_1(x_4 - x_2) = +650,00(-199,02) = -129363,0$$

$$y_2(x_1 - x_3) = +731,10(-53,75) = -39296,6$$

$$y_3(x_2 - x_4) = +846,12(+199,02) = +168394,8$$

$$y_4(x_3 - x_1) = +775,90(+53,75) = \underline{+41704,6}$$

$$41439,8$$

4. Определяем площадь полигона:

$$S = 0,5 \times 41439,8 = 20719,9 \text{ м}^2 = 2,08 \text{ га.}$$

Все данные сводим в ведомость вычисления площади полигона (табл.

4).

Таблица 4 – Ведомость вычисления площади полигона по координатам его вершин

№ вершины	Координаты					
	$x_i, \text{ м}$	$y_i, \text{ м}$	$y_{i+1} -$ $-y_{i-1}$	$x_{i-1} -$ $-x_{i+1}$	$x_i (y_{i+1} -$ $-y_{i-1})$	$y_i (x_{i-1} -$ $-x_{i+1})$
1	+ 325,00	+ 650,00	+ 44,80	+ 199,02	- 14 560,0	- 12 363,0
2	+ 450,76	+ 731,10	+ 196,12	- 53,75	+ 88 403,0	- 39 296,6
3	+ 378,75	+ 846,12	+ 44,80	+ 199,02	+ 16 968,0	+ 16 8394,8
4	+ 251,74	+ 775,90	- 196,12	+ 53,75	- 49 371,2	+ 41 704,6
			- 240,92	- 252,77	41 439,8 м <sup>2</sup>	41 439,8 м <sup>2</sup>
			+ 240,92	+ 252,77	$S = 41\,439,8 : 2 =$ $= 20\,719,9 = 2,08 \text{ га}$	

### Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип определения площади аналитическим способом.
- 2 Опишите принцип определения площади графическим способом.
- 3 Опишите принцип определения площади механическим способом.

**3 Раздел контроля знаний ЭУМК**  
**Вопросы к экзамену по дисциплине «Геодезия и маркшейдерское дело»**

1. Предмет и задачи геодезии и маркшейдерского дела.
2. Маркшейдерская картографическая документация.
3. Горно-графическая документация.
4. Маркшейдерские работы при рекультивации земель.
5. Классификация картографических материалов.
6. План и карта.
7. Масштабы карт и планов.
8. Разграфка и номенклатура карт.
9. Условные знаки планов и карт.
10. Геодезическая система координат.
11. Пространственная полярная система координат.
12. Плоская условная система прямоугольных координат.
13. Зональная система плоских прямоугольных координат.
14. Система плоских полярных и биполярных координат.
15. Высотные координаты, превышения.
16. Прямая и обратная геодезические задачи.
17. Виды геодезических измерений.
18. Геодезические способы построения.
19. Погрешности измерений.
20. Механические приборы для измерения расстояний и определение недоступных расстояний.
21. Оптические дальномеры.
22. Светодальномеры.
23. Принцип измерения горизонтальных углов.
24. Принцип измерения вертикальных углов.
25. Теодолиты: назначение, виды, устройство.
26. Приборы для измерения превышений.
27. Сущность и способы геометрического нивелирования.
28. Тригонометрическое нивелирование.
29. Ориентирование линий по географическому меридиану точки.
30. Ориентирование линий по осевому меридиану зоны.
31. Ориентирование линий по магнитному меридиану точки.
32. Румбы линий.
33. Виды геодезических сетей.
34. Геодезические знаки и центры пунктов геодезических сетей.
35. Геометрические методы создания государственных геодезических сетей.
36. Сети сгущения, съемочные сети и съемочное геодезическое (маркшейдерско-геодезическое) обоснование.
37. Оформление горных и земельных отводов.



38. Сущность и этапы геометризации.
39. Структурная карта месторождения и способы ее построения.
40. Содержание маркшейдерских работ при строительстве скважин.
41. Вертикальная планировка площадки под буровую установку.
42. Разбивочные работы при сооружении буровой установки.
43. Перенесение в натуру планового положения устьев скважин.
44. Полярный способ плановой привязки положения устьев скважин.
45. Способ прямой засечки плановой привязки положения устьев скважин.
46. Способ обратной засечки плановой привязки положения устьев скважин.
47. Триангуляционные построения для плановой привязки положения устьев скважин.
48. Теодолитные ходы для плановой привязки положения устьев скважин.
49. Определение отметок устьев скважин.
50. Виды съемок и их классификация.
51. Цифровые и математические модели местности.
52. Спутниковые методы измерений в геодезических работах.
53. Содержание инженерно-геодезических изысканий.
54. Теодолитные ходы: назначение и виды.
55. Прокладка теодолитных ходов на местности.
56. Привязка теодолитных ходов.
57. Съёмка ситуации местности.
58. Камеральные работы при теодолитной съёмке.
59. Способы определения площадей земельных угодий.
60. Основные направления производства технического нивелирования.
61. Продольное инженерно-техническое нивелирование: рекогносцировка, разбивка пикетажа и поперечников.
62. Продольное инженерно-техническое нивелирование: разбивка закруглений на трассе и вынос пикетов на кривую.
63. Нивелирование трассы.
64. Обработка результатов полевых работ нивелирования и составление профиля трассы.
65. Изыскания нефте-газо-проводов.
66. Сущность тахеометрической съёмки.
67. Создание сети съёмочного обоснования тахеометрической съёмки.
68. Съёмка ситуации и рельефа при производстве тахеометрической съёмки.
69. Камеральная обработка результатов тахеометрической съёмки.
70. Автоматизация тахеометрической съёмки.

## 4 Вспомогательный раздел ЭУМК

### 4.1 Типовой учебный план переподготовки по специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» заочной формы получения образования

Министерство образования Республики Беларусь



#### ТИПОВОЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН ПЕРЕПОДГОТОВКИ (измен зарегистрированного 13.12.2010, рег. №25-17/257)

Специальность : 1-51 02 71 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Квалификация: горный инженер

ФОРМА ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ			ОЧНАЯ (ДНЕВНАЯ)	ОЧНАЯ (ВЕЧЕРНЯЯ)	ЗАОЧНАЯ						
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОБУЧЕНИЯ (МЕСЯЦЫ), в том числе:			12	16	24						
аудиторные занятия (недели)			38	56	12						
самостоятельная работа (недели)					78						
текущая аттестация (недели)			4	4	4						
стажировка (недели)			3	3	3						
дипломное проектирование (недели)			5	5	5						
итоговая аттестация (недели)			2	2	2						
№ п/п	КОМПОНЕНТЫ УЧЕБНОГО ПЛАНА	ВСЕГО УЧЕБНЫХ ЧАСОВ	Распределение количества учебных часов с указанием формы текущей аттестации								
			Аудиторные занятия	Самостоятельная работа	Формы текущей аттестации	Аудиторные занятия	Самостоятельная работа	Формы текущей аттестации	Аудиторные занятия	Самостоятельная работа	Формы текущей аттестации
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	<b>ГУМАНИТАРНЫЕ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	58	46	12		34	24		32	26	
1.1	Основы идеологии белорусского государства	24	18	6	з	14	10	з	12	12	з
1.2	Охрана труда и отраслевая экология	34	28	6	з	20	14	з	20	14	з
2.	<b>ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	392	322	70		282	110		228	164	
2.1	Прикладная механика	40	34	6	з	26	14	з	20	20	з
2.2	Инженерная и горная графика	22	20	2	з	16	6	з	14	8	з
2.3	Организация, планирование и управление процессом разработки	50	46	4	з	44	6	з	30	20	з

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.4	Промысловая геофизика	46	40	6	э	36	10	э	26	20	э
2.5	Геологические основы нефтяных и газовых месторождений	50	40	10	э	38	12	э	32	18	э
2.6	Физика горных пород и процессов	28	20	8	э	20	8	э	18	10	э
2.7	Экономика промышленного производства	40	30	10	э	30	10	э	24	16	э
2.8	Электропривод и электрооборудование	20	16	4	э	12	8	э	10	10	э
2.9	Основы энергосбережения	20	14	6	р	12	8	р	10	10	р
2.10	Подземная гидрогеология	36	30	6	э	24	12	э	22	14	э
2.11	Геодезия и маркшейдерское дело	40	32	8	э	24	16	э	22	18	э
<b>3.</b>	<b>ДИСЦИПЛИНЫ СПЕЦИАЛЬНОСТИ</b>	<b>522</b>	<b>408</b>	<b>114</b>		<b>342</b>	<b>180</b>		<b>270</b>	<b>252</b>	
3.1	Разработка нефтяных и газовых месторождений	150	116	34	э, кр	90	60	э, кр	76	74	э, кр
3.2	Скважинная добыча нефти и газа	100	78	22	э	68	32	э	54	46	э
3.3	Сбор и подготовка скважинной продукции	44	34	10	э	32	12	э	22	22	э
3.4	Технология бурения нефтяных и газовых скважин	100	80	20	э	60	40	э	52	48	э
3.5	Буровые и тампонажные растворы	44	34	10	э	32	12	э	22	22	э
3.6	Эксплуатация и ремонт нефтегазопромышленного оборудования	36	28	8	э	24	12	э	18	18	э
3.7	Трубопроводный транспорт нефти и газа	48	38	10	э	36	12	э	26	22	э
<b>4.</b>	<b>СТАЖИРОВКА</b>	<b>54</b>			ос			ос			ос
<b>5.</b>	<b>КОМПОНЕНТ УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ</b>	<b>100</b>	<b>84</b>	<b>16</b>		<b>72</b>	<b>28</b>		<b>64</b>	<b>36</b>	
<b>ВСЕГО</b>		<b>1126</b>	<b>860</b>	<b>212</b>		<b>730</b>	<b>342</b>		<b>594</b>	<b>478</b>	
<b>ФОРМЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ:</b>		Государственный экзамен по учебным дисциплинам 3.1, 3.2, 3.4 и защита дипломного проекта									

Начальник отдела повышения квалификации и переподготовки кадров Министерства образования Республики Беларусь



Д.А.Конюцкий

Ректор ГУО "Республиканский институт высшей школы"



В.А.Гайсенюк

**4.2 Учебная программа по дисциплине «Геодезия и маркшейдерское дело» для специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» заочной формы получения образования**

Учреждение образования «Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ИПКиПК

\_\_\_\_\_ Ю.В. Кравченко

\_\_\_\_\_ 2018 г.

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«Геодезия и маркшейдерское дело»  
по специальности 1–51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газо-  
вых месторождений» в соответствии с типовым учебным планом переподго-  
товки, утвержденным 02.08.2016, рег. № 25–13/219

Гомель, 2018

Разработчик программы:  
О.В. Шершнёв, доцент, к.г.н.

Рекомендована к утверждению:

предметно-цикловой комиссией ИПК и ПК по блоку физико-математических дисциплин

Протокол заседания от 16.12.2015 № 5

советом ИПК и ПК

Протокол заседания от 18.12.2015 № 4

## ВВЕДЕНИЕ

Современное маркшейдерское дело можно охарактеризовать как одну из важнейших отраслей горной науки и техники, занимающейся в основном геометрическими измерениями и вычислениями.

Геодезия и маркшейдерское дело относится к общепрофессиональным дисциплинам для слушателей специальности 1–51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Целью изучения дисциплины «Геодезия и маркшейдерское дело» является получение знаний о геодезических и маркшейдерских работах, средствах измерений и математической обработке результатов этих измерений, выполняемых для различных научных и производственных задач.

Задачи дисциплины:

- изучение слушателями методов выполнения маркшейдерско-геодезических съемок;
- формирования навыков проведения измерительных работ на местности;
- формирование у слушателей представлений о принципах математической обработки материалов полевых маркшейдерско-геодезических съемок;
- получение слушателями практических навыков по ведению геодезических и маркшейдерских измерений;
- получение слушателями практических навыков использования топографических планов и карт, а также решение на их основе графических и аналитических задач.

Дисциплина «Геодезия и маркшейдерское дело» изучается слушателями специальности 1–51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» в объеме 22 часов аудиторных занятий.

**В результате изучения дисциплины слушатель должен знать:**

- геодезические приборы и уметь проводить геодезические измерения;
- приемы производства маркшейдерско-геодезических работ;
- теоретические основы геометризации месторождений полезных ископаемых;
- методы проведения основных видов съемок, инструменты для геодезических и маркшейдерских измерений;
- правила построения планов, профилей, разрезов по результатам съемок;
- порядок вынесения проекта в натуру;
- виды и назначение маркшейдерской документации;

**уметь:**

- уметь создавать маркшейдерские опорные и съемочные сети разработок;
- выполнять простейшие съемки при помощи маркшейдерско-геодезических инструментов;

- исследовать топографические карты и чертежи горной графической и маркшейдерской документации;
- исследовать устройство и основные поверки теодолита;
- проводить геодезические изыскания при измерении горизонтальных и вертикальных углов;
- исследовать и рассчитывать замкнутый теодолитный ход;
- исследовать устройство нивелира и нивелирных реек;
- проводить геодезические изыскания для построения продольного профиля трассы при строительстве горнопромышленных объектов.



## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### Тема 1 Основы геодезии и маркшейдерского дела

Определение, содержание и задачи геодезии и маркшейдерского дела. Место и роль геодезии в решении научных и производственных задач. Методы геодезического изучения земной поверхности. Содержание маркшейдерского дела и его задачи на различных этапах освоения месторождения. Маркшейдерская картографическая документация. Горно-графическая документация.

Понятие о геоиде, земном эллипсоиде, референц-эллипсоиде, референц-эллипсоиде Красовского. Международный эллипсоид в системе WGS-84. Методы определения формы и размеров Земли: триангуляция, гравиметрический и спутниковый.

Топографические карты, планы. Профили местности. Масштабы карт и их виды. Измерение расстояний между точками и длин извилистых линий на топографических картах, определение площадей участков графическим методом, палетками и аналитическим способом.

Географические координаты их виды и начало. Параллели и меридианы как координатные линии. Широта и долгота. Прямоугольные координаты и их начало в зональной системе. Определение географических и прямоугольных координат точек, определение объектов по их географическим и прямоугольным координатам на топографических картах. Полярная система координат. Ориентирование направлений в топографии. Географические и магнитные меридианы. Магнитное склонение. Географические и магнитные азимуты направлений. Сближение меридианов. Дирекционные углы. Связь между азимутами и дирекционными углами. Азимуты, прямые и обратные дирекционные углы, румбы. Измерение дирекционных углов на топографических картах и вычисление магнитных и географических азимутов. Связь между прямоугольной и полярной системами координат. Прямая и обратная геодезическая задачи. Абсолютные и относительные высоты точек местности и превышения между ними.

Виды измерений: равноточные и неравноточные. Ошибки измерений, их виды (грубые, систематические, случайные). Свойства случайных ошибок. Вероятнейшее значение измеренной величины (принцип арифметической середины). Методы оценки точности измерений. Средняя квадратическая ошибка. Абсолютная и относительная ошибки. Предельная ошибка.

Свойства топографических карт и планов и их назначение. Классификации и особенности подготовки карт к изданию. Содержание топографических карт и планов: математическая основа, картографическое изображение, вспомогательное оснащение, дополнительные данные. Математическая основа карт. Виды проекций, координатные сетки и рамки топографических карт. Равноугольная проекция Гаусса-Крюгера. Распределение искажений в применяемых проекциях. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов. Определение номенклатуры карт по географическим координатам рамок. Определение координат рамок карт по номенклатуре. Понятие о кар-

топографической генерализации. Основные факторы картографической генерализации и её виды. Условные обозначения на топографических картах. Площадные, линейные и внемасштабные условные знаки. Надписи и цифровые обозначения.

## **Тема 2 Геодезические измерения**

Сущность измерения горизонтального угла. Виды угломерных инструментов. Теодолиты и их классификация. Технические теодолиты, их устройство и поверки. Способы измерения горизонтальных углов: способы приемов и круговых приемов. Измерение углов наклона. Измерение магнитных азимутов. Журнал измерения углов. Цифровые теодолиты и электронные тахеометры.

Приборы для измерения длин линий местности. Вешение линий. Измерение длин линий штриховой лентой. Измерение углов наклона эклиметром и теодолитом. Определение горизонтальных проложений длин линий. Ошибки и точность измерения линий мерными лентами. Определение недоступных расстояний. Измерение линий оптическими дальномерами. Нитяной дальномер. Понятие об измерении длин линий светодальномерами и лазерными рулетками.

Высотные измерения. Приборы для измерения превышений. Сущность и способы геометрического нивелирования. Тригонометрическое нивелирование.

## **Тема 3 Маркшейдерско-геодезические сети и геометризация нефтяных и газовых месторождений**

Виды геодезических сетей. Геодезические знаки и центры пунктов.

Геометрические методы создания государственных геодезических сетей. Триангуляция, трилатерация, полигонометрия. Спутниковые сети. Государственные нивелирные сети различных классов.

Сети сгущения и их назначение. Съёмочное геодезическое (маркшейдерско-геодезическое) обоснование.

Понятие «горный отвод». Границы горного отвода. Документация проекта горного отвода. Содержание пояснительной записки горного отвода. Содержание графических материалов горного отвода.

Содержание и специфика геометризации нефтегазовых месторождений. Основные виды графических материалов, получаемые в результате геометризации и графического моделирования залежи.

Назначение и виды структурных карт. Стратоизогипсы. Построение структурных карт методом треугольников. Построение структурных карт методом профилей.

#### **Тема 4 Маркшейдерское обеспечение обустройства нефтяных и газовых месторождений**

Содержание маркшейдерских работ при строительстве скважин. Вертикальная планировка. Инженерно-геологические изыскания. Последовательность работ при проектировании горизонтальной площадки. Линия нулевых работ. Подсчет объемов земляных работ.

Вынос в натуру основных осей сооружения. Геодезическая разбивка фундаментов, основных осей буровой установки и привышечного оборудования. Виды контрольных измерений при строительстве буровой вышки.

Перенесение в натуру планового положения устьев скважин. Перенос выработок в натуру по топографическим картам. Способ полярных координат. Способ угловой засечки. Способ линейной засечки.

Способы плановой и высотной привязки устьев скважин. Плановая и высотная привязка устьев скважин по топографическим картам. Полярный способ плановой и высотной привязки устьев скважин. Плановая и высотная привязка устьев скважин засечками. Прямая угловая засечка. Обратная угловая засечка. Линейная засечка. Комбинированная засечка и ее виды. Триангуляционные построения. Теодолитные ходы. Способы определения отметок устьев скважин.

#### **Тема 5 Маркшейдерско-геодезические съемки**

Виды съемок и их классификация. Горизонтальная, контурная, топографическая съемка. Общая характеристика съемок (теодолитная, тахеометрическая, мензульная, наземная стереофотосъемка, аэро- и космическая фотосъемка, нивелирование, буссольная съемка, глазомерная съемка).

Цифровая модель местности (ЦММ) и ее содержание. Содержание цифровой топографической модели местности. Программные комплексы для создания ЦММ. Математическая модель местности. Виды цифровых моделей рельефа.

Глобальные системы позиционирования и принципы их функционирования. Способы спутникового позиционирования.

Задачи и содержание инженерно-геодезических изысканий.

Виды теодолитных ходов (разомкнутый, замкнутый, висячий). Виды работ при теодолитной съемке. Прокладка теодолитных ходов на местности. Рекогносцировка. Центрирование и горизонтирование теодолита. Методика измерения горизонтального угла теодолитом. Способы привязки теодолитных ходов. Съемка ситуации местности. Способ перпендикуляров. Способ полярных и биполярных координат. Способ приемов. Способ обхода. Составление абриса. Камеральные работы при теодолитной съемке. Невязка. Уравнивание результатов измерений. Этапы вычислительных работ по определению координат вершин теодолитного хода. Содержание графических работ при построении плана теодолитной съемки.

Аналитический способ определения площадей земельных угодий. Графический способ определения площадей. Механический способ определения площадей.

Основные направления производства технического нивелирования. Проектирование трассы. Полевые работы. Рекогносцировка, разбивка пикетажа и поперечников. Разбивка закруглений на трассе и вынос пикетов на кривую. Обработка результатов полевых работ и составление профиля трассы. Изыскания нефте-газо-проводов. Полевое трассирование. Основные документы, составляемые по результатам полевого трассирования.

Назначение и сущность тахеометрической съемки. Тахеометры и их виды. Создание сети съемочного обоснования. Съемка ситуации и рельефа. Камеральная обработка результатов тахеометрической съемки. Автоматизация тахеометрической съемки.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Тематика практических занятий**

1. Определение прямоугольных и географических координат точек на топографических картах.
2. Ориентирование линий на местности.
3. Обработка результатов угломерной съемки.
4. Вычисление площадей полигона.

### **Рекомендуемые формы контроля знаний**

Защита практических работ и устный опрос.

### **Материалы для текущей аттестации**

1. Предмет и задачи геодезии и маркшейдерского дела.
2. Маркшейдерская картографическая документация.
3. Горно-графическая документация.
4. Маркшейдерские работы при рекультивации земель.
5. Классификация картографических материалов.
6. План и карта.
7. Масштабы карт и планов.
8. Разграфка и номенклатура карт.
9. Условные знаки планов и карт.
10. Геодезическая система координат.
11. Пространственная полярная система координат.
12. Плоская условная система прямоугольных координат.
13. Зональная система плоских прямоугольных координат.
14. Система плоских полярных и биполярных координат.
15. Высотные координаты, превышения.
16. Прямая и обратная геодезические задачи.
17. Виды геодезических измерений.
18. Геодезические способы построения.
19. Погрешности измерений.
20. Механические приборы для измерения расстояний и определение неприступных расстояний.
21. Оптические дальномеры.
22. Светодальномеры.
23. Принцип измерения горизонтальных углов.
24. Принцип измерения вертикальных углов.
25. Теодолиты: назначение, виды, устройство.
26. Приборы для измерения превышений.
27. Сущность и способы геометрического нивелирования.
28. Тригонометрическое нивелирование.

29. Ориентирование линий по географическому меридиану точки.
30. Ориентирование линий по осевому меридиану зоны.
31. Ориентирование линий по магнитному меридиану точки.
32. Румбы линий.
33. Виды геодезических сетей.
34. Геодезические знаки и центры пунктов геодезических сетей.
35. Геометрические методы создания государственных геодезических сетей.
36. Сети сгущения, съемочные сети и съемочное геодезическое (маркшейдерско-геодезическое) обоснование.
37. Оформление горных и земельных отводов.
38. Сущность и этапы геометризации.
39. Структурная карта месторождения и способы ее построения.
40. Содержание маркшейдерских работ при строительстве скважин.
41. Вертикальная планировка площадки под буровую установку.
42. Разбивочные работы при сооружении буровой установки.
43. Перенесение в натуру планового положения устьев скважин.
44. Полярный способ плановой привязки положения устьев скважин.
45. Способ прямой засечки плановой привязки положения устьев скважин.
46. Способ обратной засечки плановой привязки положения устьев скважин.
47. Триангуляционные построения для плановой привязки положения устьев скважин.
48. Теодолитные ходы для плановой привязки положения устьев скважин.
49. Определение отметок устьев скважин.
50. Виды съемок и их классификация.
51. Цифровые и математические модели местности.
52. Спутниковые методы измерений в геодезических работах.
53. Содержание инженерно-геодезических изысканий.
54. Теодолитные ходы: назначение и виды.
55. Прокладка теодолитных ходов на местности.
56. Привязка теодолитных ходов.
57. Съёмка ситуации местности.
58. Камеральные работы при теодолитной съёмке.
59. Способы определения площадей земельных угодий.
60. Основные направления производства технического нивелирования.
61. Продольное инженерно-техническое нивелирование: рекогносцировка, разбивка пикетажа и поперечников.
62. Продольное инженерно-техническое нивелирование: разбивка закруглений на трассе и вынос пикетов на кривую.
63. Нивелирование трассы.

64. Обработка результатов полевых работ нивелирования и составление профиля трассы.
65. Изыскания нефте-газо-проводов.
66. Сущность тахеометрической съемки.
67. Создание сети съемочного обоснования тахеометрической съемки.
68. Съемка ситуации и рельефа при производстве тахеометрической съемки.
69. Камеральная обработка результатов тахеометрической съемки.
70. Автоматизация тахеометрической съемки.

### Список рекомендуемой литературы

#### Основная:

- 1 Борщ-Компониец, В.И. Геодезия. Маркшейдерское дело / В.И. Борщ-Компониец. – М.: Недра, 1989.
- 2 Дьяков, Б.Н. Геодезия. Общий курс: учеб. пособие / Б.Н. Дьяков. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 1993. – 171 с.
- 3 Евдокимов, А.В. Сборник упражнений и задач по маркшейдерскому делу: учеб. пособие / А.В. Евдокимов, А.Г. Симанкин. – М.: МГГУ, 2004. – 297 с.
- 4 Киселев, М.И. Геодезия: учеб. пособие / М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев. – М.: Академия, 2008. – 384 с.
- 5 Маркшейдерское дело: учеб. пособие. – В двух частях / Под ред. И.Н. Ушакова. – М.: Недра, 1989. – Часть 1 / И.Н. Ушаков [и др.]. – 311 с.; Часть 2 / А.Н. Белоликов [и др.]. – 437 с.
- 6 Нестеренок, М.С. Геодезия: учеб. пособие / М.С. Нестеренок. – Минск: Выш. шк., 2012. – 288 с.
- 7 Перфилов, В.Ф. Геодезия: Учеб. для вузов / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова. – М.: Высш. шк., 2008. – 350 с.
- 8 Поклад, Г.Г. Геодезия: учеб. для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Недра, 2007. – 592 с.
- 9 Селиханович, В.Г. Геодезия: учеб. для вузов / В.Г. Селиханович. – М.: Недра, 1981. – 544 с.
- 10 Синанян, Р.Р. Маркшейдерское дело: учеб. пособие / Р.Р. Синанян. – М.: Недра, 1988. – 312 с.
- 11 Топография с основами геодезии / А.П. Романкевич, П.П. Явид. – Минск: БГУ, 2004. – 146 с.
- 12 Чекалин, С.И. Геодезия в маркшейдерском деле: учеб. пособие / С.И. Чекалин. – М.: Академический Проект, 2012. – 505 с.

#### Дополнительная:

- 1 Ащеулов, В.А. Применение спутниковых навигационных систем в геодезии: учеб. пособие / В.А. Ащеулов. – Новосибирск: НИИГАиК, 1993. – 82 с.

2 Баканова, В. В. Практикум по геодезии: учеб. пособие для вузов / В.В. Баканова, Я.Я. Карклин, Г.К. Павлов и др. – М.: Недра, 1983. – 456 с.

3 Дементьев, В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение: учеб. пособие для вузов / В.Е. Дементьев.– М.: Академический проект, 2008. – 591 с.

4 Курошев, Г.Д. Геодезия и топография: учебник для студ. вузов / Г.Д. Курошев, Е.Л. Смирнов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 176 с.

5 Маслов, А.В. Геодезические работы при землеустройстве: учебн. пособие / А.В. Маслов, А.Г. Юнусов, Г.И. Горохов. – М.: Недра, 1990. – 215 с.

6 Неумывакин, Ю.К. Практикум по геодезии: учеб. пособие / Ю.К. Неумывакин, А.С. Смирнов. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1995. – 315 с.

7 О недрах: Кодекс Республики Беларусь от 14 июля 2008 г. № 406-З. – Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1503.

8 Топографо-геодезические термины: Справочник / Б.С. Кузьмин, Ф.Я. Герасимов, В.М. Молоканов и др. – М.: Недра, 1989. – 261 с.



### 4.3 Список учебных изданий рекомендуемых для изучения учебной дисциплины «Геодезия и маркшейдерское дело»

#### ОСНОВНАЯ:

- 1 Борщ-Компониец, В.И. Геодезия. Маркшейдерское дело / В.И. Борщ-Компониец. – М.: Недра, 1989.
- 2 Дьяков, Б.Н. Геодезия. Общий курс: учеб. пособие / Б.Н. Дьяков. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 1993. – 171 с.
- 3 Евдокимов, А.В. Сборник упражнений и задач по маркшейдерскому делу: учеб. пособие / А.В. Евдокимов, А.Г. Симанкин. – М.: МГГУ, 2004. – 297 с.
- 4 Киселев, М.И. Геодезия: учеб. пособие / М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев. – М.: Академия, 2008. – 384 с.
- 5 Маркшейдерское дело: учеб. пособие. – В двух частях / Под ред. И.Н. Ушакова. – М.: Недра, 1989. – Часть 1 / И.Н. Ушаков [и др.]. – 311 с.; Часть 2 / А.Н. Белоликов [и др.] – 437 с.
- 6 Нестеренок, М.С. Геодезия: учеб. пособие / М.С. Нестеренок. – Минск: Выш. шк., 2012. – 288 с.
- 7 Перфилов, В.Ф. Геодезия: Учеб. для вузов/ В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова. – М.: Высш. шк., 2008. – 350 с.
- 8 Поклад, Г.Г. Геодезия: учеб. для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Недра, 2007. – 592 с.
- 9 Селиханович, В.Г. Геодезия: учеб. для вузов / В.Г. Селиханович. – М.: Недра, 1981. – 544 с.
- 10 Синанян, Р.Р. Маркшейдерское дело: учеб. пособие / Р.Р. Синанян. – М.: Недра, 1988. – 312 с.
- 11 Топография с основами геодезии / А.П. Романкевич, П.П. Явид. – Минск: БГУ, 2004. – 146 с.
- 12 Чекалин, С.И. Геодезия в маркшейдерском деле: учеб. пособие / С.И. Чекалин. – М.: Академический Проект, 2012. – 505 с.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

- 1 Ащеулов, В.А. Применение спутниковых навигационных систем в геодезии: учеб. пособие / В.А. Ащеулов. – Новосибирск: НИИГАиК, 1993. – 82 с.
- 2 Баканова, В. В. Практикум по геодезии: учеб. пособие для вузов / В.В. Баканова, Я.Я. Карклин, Г.К. Павлов и др. – М.: Недра, 1983. – 456 с.
- 3 Дементьев, В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение: учеб. пособие для вузов / В.Е. Дементьев.– М.: Академический проект, 2008. – 591 с.
- 4 Курошев, Г.Д. Геодезия и топография: учебник для студ. вузов / Г.Д. Курошев, Е.Л. Смирнов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 176 с.

5 Маслов, А.В. Геодезические работы при землеустройстве: учебн. пособие / А.В. Маслов, А.Г. Юнусов, Г.И. Горохов. – М.: Недра, 1990. – 215 с.

6 Неумывакин, Ю.К. Практикум по геодезии: учеб. пособие / Ю.К. Неумывакин, А.С. Смирнов. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1995. – 315 с.

7 О недрах: Кодекс Республики Беларусь от 14 июля 2008 г. № 406-З. – Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1503.

8 Топографо-геодезические термины: Справочник / Б.С. Кузьмин, Ф.Я. Герасимов, В.М. Молоканов и др. – М.: Недра, 1989. – 261 с.