

## МОДУЛЬ 7

### Тема 14. Общие сведения о геодезическом обосновании крупномасштабных съемок

#### Лекция №81. Современные тенденции в производстве геодезических работ по созданию геодезического обоснования и выполнению крупномасштабных съемок

Задачей геодезических измерений является определение взаимного положения точек в пространстве, их планового и высотного положения.

В большинстве случаев геодезические измерения имеют системный характер. Лишь при правильно запроектированной и разумно осуществляемой системе измерений и обработки их результатов обеспечивается необходимая по обстоятельствам дела точность и наивысшая производительность труда с минимальными затратами времени и средств.

Поэтому основными направлениями при выполнении геодезических работ являются:

- 1) разработка и совершенствование приемов измерений, обеспечивающих получение результатов с заданной и научно обоснованной точностью;
- 2) исследование и совершенствование приборов, а также организации и методики выполнения измерений в различных природных условиях;
- 3) разработка и совершенствование методов обработки результатов геодезических измерений.

Поэтому современные тенденции в производстве геодезических работ по созданию геодезического обоснования и выполнению топографических съемок опираются на три этих направления.

Развитие микропроцессорной техники привело к значительному усовершенствованию геодезических приборов. Микропроцессоры служат для обработки и передачи данных, а также для управления процессом измерения и расчета поправок, компенсирующих погрешности измерительных инструментов. Одновременно сокращается время на измерения и одновременно повышается точность результатов измерений.

В последнее время на мировом рынке появился ряд новых геодезических автоматизированных электронных приборов: теодолитов, нивелиров, тахеометров.

Достигнуты существенные успехи в совершенствовании нивелиров. Среди радикальных разработок можно назвать следующие: применение многоступенчатых (многодиапазонных) компенсаторов, позволяющих достичь диапазона компенсации 3-5 градусов, нивелиры с двухсторонним визированием на заднюю и переднюю рейки, применение нивелира с поворотной трубой, автоматизация считывания информации и выдачу ее на табло и в накопитель. Электронные нивелиры могут работать в двух режимах: визуальном и автоматизированном.

Для крупномасштабных топографических съемок широко применяются электронные тахеометры. Тахеометр – оптико-электронный прибор, совмещающий электронный теодолит, светодальномер, вычислительное устройство и регистратор информации. (Зта5).

Геодезические измерения традиционными методами требуют больших затрат времени на измерения, поскольку они выполняются при наличии прямой видимости между пунктами.

Создание и внедрение в геодезическую практику технологий фазовых наблюдений глобальных навигационных спутниковых систем позволило использовать их при создании обоснования крупномасштабных съемок.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

- 1) Задачи геодезических измерений при выполнении крупномасштабных съемок?
- 2) Указать современные методы создания съемочного обоснования крупномасштабных съемок.
- 3) Что такое тахеометр?

- 4) В каких режимах могут работать электронные нивелиры?
- 5) Указать современные тенденции в производстве геодезических работ по созданию геодезического обоснования и выполнению топографических съемок.

#### **Лекция №82. Краткие сведения об инструкциях по построению плановых и высотных сетей.**

В практике геодезического производства существуют документы - инструкции, в которых изложены современные требования по построению высотных и плановых геодезических сетей и по выполнению полного комплекса работ крупномасштабных и топографических съемок.

«Инструкция о построении Государственной геодезической сети СССР», Недра, Москва, 1966 г.

В инструкции даны общие положения по построению Государственной геодезической сети, рассмотрены требования к проектированию и рекогносцировке геодезических сетей, постройке знаков, исследованию инструментов. Указаны требования и методика измерения горизонтальных направлений и углов триангуляции и полигонометрии 1, 2, 3 и 4 классов, измерения базисов.

«Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов», Москва, Недра, 1990 г.

Изложены требования к выполнению I, II, III, IV классов при работах различного назначения. Описаны проектирование, рекогносцировка, выбор места для закладки реперов и их типа, указаны методы проведения нивелирования различных классов.

«Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1: 2000, 1: 1000, 1:500», ГКИНП – 02-033-82, Москва, недра, 1985 .

Изложены основные требования по выполнению полного комплекса работ крупномасштабных топографических съемок.

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Что такое инструкция?
- 2) В какой инструкции изложены общие положения по построению Государственной геодезической сети?
- 3) В какой инструкции изложены требования к выполнению нивелирования различных классов?
- 4) В какой инструкции изложены требования комплекса работ крупномасштабных топографических съемок?
- 5) Являются ли инструкции не меняющимся документом?

### **Тема 15. Геодезические сети сгущения**

#### **Лекция № 83. Государственные плановые сети. Виды и назначение государственных плановых сетей.**

В курсе «Геодезия, часть 2» рассматриваются вопросы создания плановых и высотных сетей сгущения (триангуляция 1 и 2 разрядов, полигонометрия 4 класса, 1 и 2 разрядов, нивелирование III, IV классов), являющихся обоснованием для крупномасштабных топографических съемок. Изучаются вопросы проектирования; закрепления сетей; методы их создания; приборы применяемые при измерениях в сетях; обработка и уравнивание сетей.

Потребности народного хозяйства в материалах крупномасштабных топографических съемок для обеспечения развития территорий, разведки и освоения месторождений полезных ископаемых, строительства и реконструкции строительных объектов, решения задач земельного и градостроительного кадастров, обороны и т.д. все более возрастают.

Материалы топографических съемок требуют их постоянного поддержания на современном уровне.

Топографические планы и карты создают при помощи топографических съемок или (кроме планов М 1:500) по материалам топографических съемок более крупных масштабов.

Топографическая съемка – это комплекс работ, выполняемых с целью получения съемочного оригинала карты или плана.

Топографические съемки выполняются методами: стереотопографическим, комбинированным, мензульным, фототопографическим, тахеометрическим и теодолитным.

Топографические съемки выполняют в масштабах 1:25 000, 1:10 000, 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Топографические съемки М 1:500 и крупнее называются крупномасштабными.

Результаты топографических съемок могут быть представлены в графической (топографические карты и планы) и цифровой (цифровые модели местности) формах.

Геодезической основой крупномасштабных съемок служат:

1) государственные геодезические сети триангуляции и полигонометрии 1,2,3 и 4 классов; нивелирование I,II, III, IV классов;

2) геодезические сети сгущения:

триангуляция (аналитическая сеть) 1 и 2 разрядов, полигонометрия 1 и 2 разрядов, техническое нивелирование;

3) геодезическое съемочное обоснование.

Общеизвестно, что геодезические сети являются исходной основой всех топографо-геодезических, проектно-изыскательских, инженерных строительных, кадастровых и других работ.

В настоящее время геодезические сети представляют сложные построения, состоящие из государственной геодезической сети и пунктов сетей сгущения.

#### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

1) Указать назначение плановых сетей?

2) Указать вид плановых сетей?

3) Что служит геодезической основой крупномасштабных съемок?

4) Указать методы топографических съемок.

5) В каком виде могут быть представлены результаты топографических съемок?

#### **Лекция № 84. Современные методы построения плановых геодезических сетей.**

Во второй половине XX века эпохальным событием стало создание спутниковых навигационных систем, которые широко используются для построения плановых сетей различной точности.

В большинстве случаев навигационные и геодезические работы отличаются лишь по классу точности производимых определений координат. Поэтому целый ряд созданных и создаваемых космических систем предназначаются для решения как навигационных, так и геодезических задач.

К навигационным системам первого поколения относятся низкоорбитальная система «Цикада» (СССР) и «Транзит» (США).

К космическим навигационно-геодезическим системам второго поколения относятся системы НАВСТАР (США), в конце 80-х годов получившая название GPS, и ГЛОНАС (Российская Федерация).

Геодезические измерения с помощью GPS стали популярными благодаря таким преимуществам как точность, быстродействие, гибкость и экономическая эффективность. Используемые методы работы, однако, совершенно отличаются от классических геодезических наблюдений.

GPS – технология позволяет выполнять все виды топографо-геодезических работ от высокоточных научно-исследовательских и развития геодезических сетей, до создания съемочного обоснования и топографической съемки местности с использованием электронных тахеометров.

Спутниковая глобальная система определения местоположения пунктов GPS рассчитана на высокоточное определение пространственных координат и вектора скорости движения определяемого объекта в любой момент времени и в любой точке земного шара (включая околоземное космическое пространство).

Структурная схема системы GPS состоит из совокупности ИСЗ и наземных командно-измерительных средств, позволяющих определить параметры орбит, контролировать работу бортовой аппаратуры и управлять ею.

Математическое обеспечение – полностью автоматизированный комплекс программ, оснащенный графическим аппаратом высшего уровня. В указанную цепочку включается и электронный тахеометр для решения съемочных задач.

При построении плановых сетей сгущения исходные пункты выбираются из пунктов ГГС так, чтобы определяемые пункты входили в создаваемую локальную сеть. В зависимости от условий радионаблюдений и требуемой точности, выбирают режимы наблюдений. При создании сетей сгущения широко используется быстрая статика – наиболее распространенный режим, позволяющий определять длины линий до 10 км, с точностью 1.5-2 см и временем наблюдений на пунктах от 5 до 20 минут;

Все измерения проводятся «лучевым методом», который подразумевает наличие одной постоянной базовой станции и, как минимум, одной подвижной. Координаты любого пункта в этом случае будут вычисляться по отношению к неподвижной базовой станции.

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Перечислить преимущества геодезических измерений с помощью GPS?
- 2) Что включает в себя структурная схема системы GPS?
- 3) Указать космические навигационные системы второго поколения.
- 4) Какой метод GPS используется при создании сетей сгущения?
- 5) Что такое базовая станция?

#### **Лекция №85. Триангуляция 1 и 2 разряда. Общие положения.**

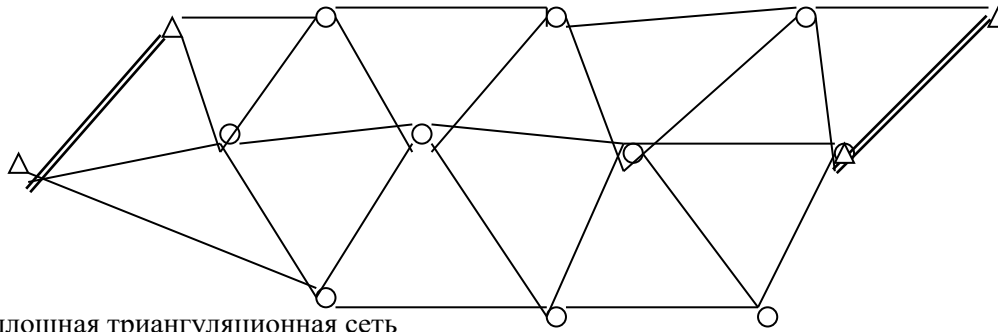
Геодезической плановой основой крупномасштабных съемок служат пункты государственной геодезической сети 1, 2, 3 и 4 классов а также геодезические сети сгущения 1 и 2 разрядов.

В открытой и горной местности где невозможно или нецелесообразно сгущать государственные сети методом полигонометрии до плотности, обеспечивающей построение съемочного обоснования крупномасштабных съемок, развивают триангуляцию 1 и 2 разрядов в иде цепочки, сетей, центральных систем и вставок отдельных пунктов. Исходными пунктами триангуляции 2 разряда могут служить пункты полигонометрии и триангуляции 1 разряда. Каждый пункт триангуляции 1 и 2 разрядов определяют их треугольников, в которых измерены все углы. Триангуляция должна удовлетворять требованиям “Инструкции по топографической съемке в масштабах 1: 5000 1:2000. 1:1000, 1:500, Москва., Недра, 1985”, приведенным в таблице

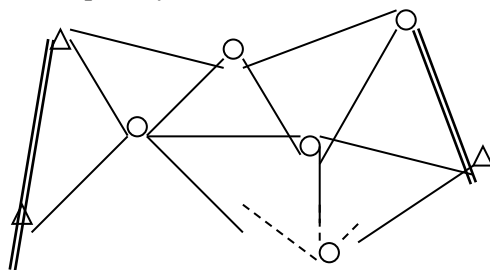
Показатели	1 разряд	2 разряд
Длина стороны треугольника, км, не более	5	3
Минимальная допустимая величина угла, градус:		
в сплошной сети	20	20
связующего в цепочке треугольников	30	30
во вставке	30	20
Число треугольников между исходными пунктами или сторонами, не более	10	10
Минимальная длина исходной стороны, км	1	1

Предельное значение СКО измерения угла по невязкам треугольников	5"	10"
Допустимая невязка в треугольнике	20"	40"
Относительная ошибка исходной (базисной) стороны	1/50 000	1/20 000
Относительная ошибка, определения длины стороны в слабом месте	1/20 000	1/10 000

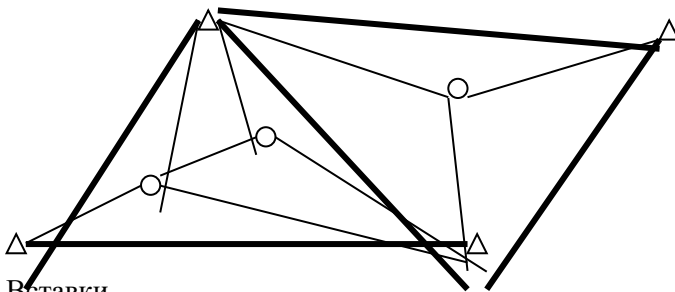
Примерные схемы построения триангуляционных сетей 1 и 2 разряда



Сплошная триангуляционная сеть



Цепочка треугольников и засечка



Вставки

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

- 1) Назначение геодезических сетей сгущения?
- 2) Сущность метода триангуляции?
- 3) Точность триангуляции 1 и 2 разряда?
- 4) Схемы построения триангуляционных сетей 1 и 2 разряда?
- 5) Предельное значение СКО измерения угла по невязкам треугольников в триангуляции 1 разряда?

да?

### **Лекция №86. Проектирование и полевые работы в триангуляции 1 и 2 разрядов.**

Проектирование геодезических сетей 1 и 2 разрядов должно производиться в зависимости от масштаба съемки и метода предстоящей съемки на основе

Сбора и анализа сведений и материалов о всех ранее выполненных геодезических работах на объекте;

Изучения района работ по имеющимся картам наиболее крупного масштаба и литературным источникам;

Изучения материалов обследования района работ, включающего обследование и инструментальный поиск геодезических знаков ранее выполненных работ;

Выбора наиболее целесообразного варианта построения сети с учетом перспективы развития территории. Проект геодезических сетей сгущения составляется, как правило, на картах масштаба 1:10 000 – 1:25 000. В проекте сети предусматривают места установки пунктов, их доступность при развитии съемочной основы, возможность наблюдений с земли, сохранность знаков и центров.

На пунктах сооружаются наружные геодезические знаки следующих типов: туры и металлические пирамиды штативы со съемными визирными целями, металлические пирамиды трехгранные и четырехгранные (первые только для сетей сгущения 1 и 2 разрядов). Наружные знаки должны быть устойчивыми и прочными. Жесткость наружных знаков должна обеспечивать возможность измерения углов при ветре средней силы.

Пункты геодезических сетей 1 и 2 разрядов на территориях городов, поселков и промышленных площадок закрепляются в соответствии с требованиями, изложенными в материале “Центры геодезических пунктов для территорий городов, поселков и промышленных площадок, М., Недра, 1972 г.”. В сельской местности пункты триангуляции 1 и 2 разряда закладываются центрами типов 5 г.р. и 6 г.р.

Центр типа 6 г.р. представляет собой бетонный монолит в виде усеченной четырехгранной пирамиды с нижним основанием 40 на 40 см, верхним основанием 15 на 15 см и высотой 20 см с заделанной в него металлической (асбоцементной) трубой диаметром 60-100 мм, к верхнему концу приваривается марка. Над центром устанавливается чугунный колпак с маркой.

Сплошную сеть проектируют с опорой не менее чем на три исходных пункта и две выходных (базисные) стороны. Предусматривается определение засечками выдающихся предметов (колоколен, труб, вышек и т.д.).

На основании утвержденного проекта производится рекогносцировка геодезических сетей. При рекогносцировке уточняется проект сети и намечаются места для установки пунктов. В процессе рекогносцировки выбирают наиболее выгодный вариант сети, окончательно определяют типы знаков и центров.

Углы в триангуляции 1 и 2 разрядов измеряют круговыми приемами теодолитами типов Т2 и числом приемов с соблюдением допусков, указанных в таблице

Показатели	Т2		Т5	
	1 разряд	2 разряд	1 разряд	2 разряд
Число приемов	3	2	4	3
Незамыкание горизонта	8"	8"	0.2'	0.2'
Колебания значений приведенных направлений из разных приемов	8"	8"	0.2'	0.2'

Элементы приведения определяют графически до и после наблюдений.

При наблюдениях в условиях города необходимо учитывать многочисленные поля рефракции изменяющиеся в пространстве и во времени.

Лучшим временем для наблюдений является ранняя весна и осень.

Установку центра лимба теодолита над вершиной измеряемого угла (центрирование) осуществляют при помощи отвесов или оптических центриров. Центрирование теодолита и марок должно выполняться с ошибками не более 2 мм.

Простейшим приспособлением для центрирования является нитяной отвес.

Оптический центрир изготавливается как часть теодолита, встроенная в алидаду горизонтального круга. В поле зрения центрира видны изображения вершины угла точки О и креста нитей. Передвигая подставку теодолита по головке штатива, добиваются совмещения креста сетки нитей с изображением точки О. Средняя квадратическая погрешность центрирования оптическими центрирами оценивается величиной порядка 0.5 мм.

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Указать способ измерения углов в триангуляции 1 и 2 разрядов.
- 2) Чему равно число приемов при измерении углов в триангуляции 1 разряда способом круговых приемов?
- 3) Что такое центрирование, как оно выполняется?
- 4) Указать типы геодезических знаков .
- 5) Основные этапы проектирования создания сетей триангуляции 1 и 2 разрядов.

#### **Лекция №87. Обработка, уравнивание и оценка точности в триангуляции 1 и 2 разрядов**

Обработка результатов наблюдений включает следующие укрупненные процессы:

полевые вычисления, включая контрольные;  
камеральную обработку и уравнивательные вычисления.

Предварительная обработка включает:

Составление рабочей схемы в масштабе 1: 25 000 – 1: 50 000 . На схеме подписывают названия или номера пунктов показывают наблюдаемые направления, базисные стороны, исходные пункты;

Проверку и необходимые вычисления в журналах;

Выписку исходных данных; Анализ исходной сети и подготовка списка исходных данных координат предшествует непосредственным вычислениям.

К анализу относят следующие работы: проверка совмещения новых и старых центров исходных пунктов;

Вычисление базисных сторон;

Вычисление направлений, приведенных к центрам знаков;

Вычисление невязок;

Вычисление рабочих координат пунктов.

Средние квадратические ошибки направления ( $\mu_n$  - из одного приема и  $M_n$  - из n приемов ) вычисляют по формулам для одного направления

$$\mu_n = \frac{1,25 \sum |V|}{\sqrt{n(n-1)}}; \quad M_n = \frac{\mu}{\sqrt{n}} .$$

Среднюю квадратическую ошибку угла  $m_\beta$  по невязкам  $f_\beta$  в треугольниках вычисляют по формуле

$$m_\beta = \sqrt{\frac{[f_\beta^2]}{3N}}, \text{ где } N - \text{ число треугольников в сети.}$$

Невязки в треугольниках не должны превышать допуски, указанные в Инструкции.

Уравнивание сетей выполняют по методу наименьших квадратов коррелятным и параметрическим способами.

Уравнивание триангуляции в настоящее время в основном выполняют на ЭВМ по стандартным программам, строго по методу наименьших квадратов. По результатам уравнивания, кроме уравненных значений координат, вычисляют среднюю квадратическую ошибку угла (направления) из уравнивания, наибольшую и среднюю поправки угла (направления) из уравнивания наибольшую ошибку в положении пункта и относительную ошибку в длине наиболее слабой стороны сети.

При оценке проекта сети средние квадратические ошибки любых элементов сети вычисляют в общем случае по формуле

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}}.$$

Величина средней квадратической ошибки единицы веса  $\mu$  на стадии проектирования задается заранее (из опыта подобных измерений или по инструкции). Обратный вес оцениваемого элемента в сетях триангуляции 1 и 2 разрядов допускается вычислять по приближенным формулам.

В сети среднюю квадратическую ошибку в слабом месте (связующей стороны) цепочки, опирающейся на две исходные стороны (на четыре пункта, определяют приближенной формулой

$$m_S^2 = \frac{\mu^2}{P_S} = \frac{m_{S_1}^2 \cdot m_{S_2}^2}{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2},$$

где

$$m_{S_i} = \frac{m_{\lg S_i}}{M \cdot 10^6} S_i;$$

$S_i$  - длина оцениваемой стороны, вычисленная от базиса с номером  $i$ ,

$M$  - модуль десятичных логарифмов.

$$m_{\lg S_1}^2 = 2/3 m_\beta^2 \sum_1^n R + m_{\lg b_1};$$

$$m_{\lg S_2}^2 = 2/3 m_\beta^2 \sum_1^n R + m_{\lg b_2};$$

где  $R = \delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A^2 \delta_B^2$ ;  $\delta_A, \delta_B$  - переменные логарифмов связующих углов А и В при изменении их на 1";  $m$

$m_\beta$  - средняя квадратическая ошибка измерения угла.

$$m_S = \frac{S \cdot m_{\lg S_1} \cdot m_{\lg S_2}}{M \cdot 10^6 \sqrt{m_{\lg S_1}^2 + m_{\lg S_2}^2}}.$$

Для дирекционного угла оцениваемой стороны аналогично получают

$$m_\alpha^2 = \frac{m_{\alpha_1}^2 \cdot m_{\alpha_2}^2}{m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2},$$

где

$$m_{\alpha_1}^2 = 2/3 m_\beta^2 k;$$

$$m_{\alpha_2}^2 = 2/3 m_\beta^2 (n - k).$$

Ошибку взаимного положения пунктов определяют по формуле

$$M = \sqrt{m_S^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2} S^2.$$

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

- 1) Указать основные этапы обработки результатов измерений в сети триангуляции 1 и 2 разрядов.
- 2) По какой формуле вычисляется средняя квадратическая ошибка направления?



- 3) Чему равна величина средней квадратической ошибки единицы веса  $\mu$  на стадии проектирования?
- 4) Указать по какой формуле вычисляются средние квадратические ошибки любых элементов сети?
- 5) По какой формуле определяют ошибку взаимного положения пунктов в сети триангуляции?

### Лекция №88. Полигонометрия 4 класса, 1 и 2 разрядов.

Но объектах крупномасштабных съемок полигонометрию 4 класса выполняют с пониженной точностью по сравнению с государственной полигонометрией 4 класса. Основные показатели полигонометрии 4 класса 1 и 2 разрядов даны в таблице

Основные показатели	Полигонометрия		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельная длина хода, км			
Отдельного	15	5	3
Между исходной и узловой точкой	10	3	2
Между узловыми точками	7	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	30	15	9
Длина стороны хода, км:			
Наибольшая	2	0,8	0,35
Наименьшая	0,25	0,12	0,08
Средняя	0,50	0,30	0,20
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Относительная ошибка хода, не более	1/25 000	1/10000	1/5000
СКО измерения угла (по невязкам хода и полигонах), не более	3	5	10
Угловая невязка хода или полигона, $n$ – число углов в ходе	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{m}$	$20\sqrt{n}$

Отдельный ход полигонометрии должен опираться на два исходных пункта с обязательным измерением двух примычных углов. Допускается проложение замкнутых полигонометрических ходов 1 и 2 разрядов с опорой на один исходный пункт и координатная привязка к пунктам высшего класса. В последнем случае для контроля угловых измерений используются астрономические или гиротеодолитные наблюдения азимутов. Проложение висячих ходов не допускается.

Допускаются некоторые отклонения от требований таблицы установленные инструкцией. Длины привязочных сторон, если они измеряются светодальномерами, разрешается увеличить до 30%.

Параллельно расположенные ходы, если их длина близка к предельной, а расстояние между ходами 4 класса менее 2.5 км, 1 разряда – менее 1.5 км, соединяют перемычками того же класса или разряда.

Высоты, закрепленных пунктов полигонометрической сети определяют из геометрического нивелирования.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

- 1) В чем заключается суть способа полигонометрии?
- 2) Полигонометрия – это метод создания плановых или высотных сетей?
- 3) Чему равна предельная длина хода в полигонометрии 1 разряда?
- 4) Чему равна СКО измерения угла в полигонометрии 2 разряда?
- 5) Чему равна угловая невязка хода или полигона полигонометрии 1 разряда?

### Лекция №89. Составление проекта хода и сети полигонометрии

Проектирование полигонометрических сетей 4 класса, 1 и 2 разрядов и съёмочного обоснования крупномасштабных съёмок проводят с учетом масштабов и методов предстоящих съёмок на основе: сбора и анализа данных по геодезической изученности на объекте съёмки; наличия приборов; изучения физико-географических и экономических данных о районе работ, с учетом наличия материалов и рабочей силы, результатов обследования района и перспектив развития района не менее чем на 10-15 лет.

Проект сети составляется на топографических картах масштаба 1:10 000 или 1: 25 000. Выполняют оценку составленного проекта. Исходными требованиями для расчета точности сети сгущения является предельные ошибки положения точек уравниваемого съёмочного обоснования: они не должны превышать на открытой местности и застроенных территориях 0.2 мм на плане, т.е. 10 см в масштабе 1:500. Проектирование сетей с использованием ЭВМ позволяет получить оптимальное решение: создание сети заданной точности с наименьшими затратами денежных средств.

Пусть на конечной ступени требуется средняя квадратическая относительная ошибка  $1/T_k$ , на начальной  $1/T_n$ . При числе ступеней  $n$  определим коэффициент обеспечения точности при переходе от предыдущей ступени построения к последующей

$$K = \sqrt[n]{\frac{T_n}{T_k}}$$

Например:  $T_n = 50\,000$ ,  $T_k = 10\,000$  (переход от полигонометрии 4 класса к полигонометрии 2 разряда).

Наличие дополнительных ошибок исходных данных приводит к появлению в формуле коэффициента, характеризующего увеличение действия ошибок исходных данных на относительную ошибку последующей ступени построения. Рекомендуется ориентировочно принять коэффициент равным 1.5. Тогда формула примет вид

$$K = \frac{1}{1.5} \sqrt[n]{\frac{T_n}{T_k}}$$

Например, при точности начальной ступени (полигонометрии 4 класса)  $1/T_n = 1/50000$  и конечной ступени (теодолитного хода)  $1/T_k = 1/4000$  при трехступенной схеме развития обоснования  $n = 3$  коэффициент обеспечения точности должен быть равен не менее

$$K = 1/1.5^3 \sqrt[3]{12.5} = 1.55$$

При проектировании одиночного полигонометрического хода, опирающегося на исходные пункты и исходные дирекционные углы, необходимо определить ошибку в положении пункта и ошибку дирекционного угла в середине хода после его уравнивания.

Известно, что СКО в слабом месте хода после уравнивания

$$M_{сл} = 1/2M$$

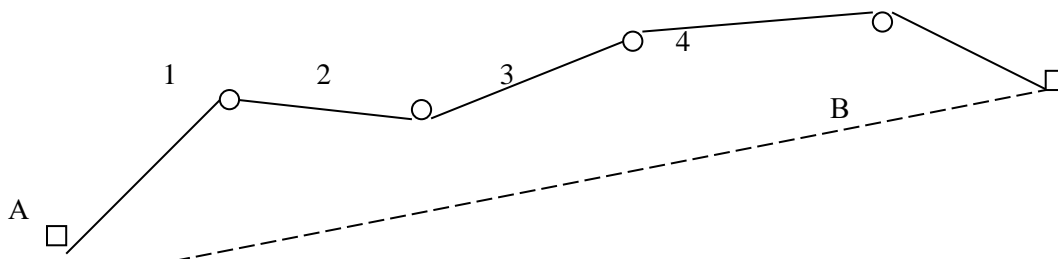
где  $M$  – СКО в положении конечного пункта хода до уравнивания вычисляется для хода произвольной формы по формуле

$$M^2 = [m_s^2] + [D_{o,i}^2] \frac{m_\beta^2}{\rho^2}$$

или, когда углы не уравнены, по формуле

$$M^2 = [m_s^2] + [D_{(n+1),i}^2] \frac{m_\beta^2}{\rho^2}$$

Центр тяжести найдем известным графическим способом по плану хода



Для вытянутого хода с примерно равными сторонами соответственно имеем

$$M^2 = m_s^2 n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+1.5}{3}$$

$$M_k^2 = m_s^2 n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \frac{n+3}{12} [S]^2$$

В приведенных формулах приняты обозначения:  $m_s$  - СКО измерения стороны;  $m_\beta$  - СКО измерения угла;  $D_{o,i}$  - расстояния от каждой вершины хода до центра тяжести хода;  $D_{(n+1),i}$  - расстояние от каждой вершины хода до конечной его вершины;  $n$  - число сторон хода;  $L$  - длина замыкающей хода.

СК случайную ошибку измерения длин сторон хода для светодальномеров

$$m_{S_i} = a + b s_i$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, определенные на базисе.

СКО дирекционного угла в слабом месте хода после уравнивания, при наличии только случайных ошибок измерений, примерно равна СКО измерения угла

$$m_\alpha = m_\beta$$

При наличии систематических ошибок и погрешностей исходных данных часто принимают

$$m_\alpha = 1/5 m_\chi$$

Начнем с оценки одиночного вытянутого хода между пунктами триангуляции А и В. Отнесем этот ход к полигонометрии 1-го разряда, приняв  $m_\beta = 5''$ ,  $m_s = 1 \text{ см}$ ,  $n = 9$ ,  $[S] = 3.2 \text{ км}$

СКО конечной точки этого хода равна 8.3 см; СКО средней точки составляет  $1/2$  от  $M_k$ . Предельная относительная ошибка хода будет

$$\frac{2M_{\text{кон}}}{[S]} = \frac{16.6}{320000} = \frac{1}{19000}$$

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

- 1) Указать основные этапы при составлении проекта сетей полигонометрии?
- 2) На картах какого масштаба выполняется составление проекта?
- 3) По какой формуле вычисляется СКО в положении конечного пункта вытянутого хода?
- 4) По какой формуле вычисляется СКО в положении конечного пункта изогнутого хода?
- 5) Указать СКО измерения угла в ходе полигонометрии 1 разряда.

### **Лекция №90. Рекогносцировка и закрепление пунктов полигонометрии**

При рекогносцировке уточняют проект сети, направление ходов, и определяют места установки полигонометрических знаков. Полигонометрические ходы прокладывают по местности, наиболее благоприятной для производства угловых и линейных измерений. Места установки полигонометрических пунктов выбирают легкодоступными, хорошо опознаваемыми, обеспечивающими долговременную сохранность и возможность использования их в качестве точек съемочной сети.

Центры и знаки выбирают и закладывают в соответствии с требованиями действующей инструкции. На застроенной территории предпочтение отдается стенным знакам.

Запрещается устанавливать полигонометрические знаки на проезжей части улиц, пашне, болоте, осыпях, оползнях, а также вблизи карьеров, котлованов и других опасных мест.

Каждый установленный полигонометрический знак привязывают к постоянным предметам местности не менее чем тремя промерами (до 1 см), а местоположение знака аккуратно зарисовывают в карточке закладки.

#### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

1) Что такое рекогносцировка?

2) Указать требования к установке полигонометрических знаков.

3) В какой местности целесообразнее прокладывать полигонометрию?

4) В соответствии с чем выбирают полигонометрические центры и знаки?

5) Каким знакам отдается предпочтение на застроенных территориях?

### **Тема 16. Угловые измерения в полигонометрии**

#### **Лекция №91. Угловые измерения в полигонометрии. Методы измерения углов на пунктах полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов**

##### ***Измерение горизонтальных углов и оценка точности***

В полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов горизонтальные углы измеряют по методу трехштанговой системы способом круговых приемов. В первом полуприеме алидаду вращают по ходу часовой стрелки, последовательно выполняют наведение на все пункты, и замыкают горизонт снова наведением на начальный пункт. При каждом наведении производят отсчеты при двух совмещениях. Во втором полуприеме вращение алидады осуществляют в обратном направлении, начиная и заканчивая наблюдения также на первый пункт.

Повышение качества можно достигнуть, если придерживаться некоторых практических советов. Заканчивать на ввинчивание вращение наводящего винта алидады горизонтального круга и головки барабана микрометра. Перед началом измерений делать два-три оборота алидадной части теодолита в направлении вращения. По возможности не менять фокусировку трубы и отсчетного микроскопа и положение зеркала подсветки. Стремиться все измерительные операции в приеме и в программе наблюдений на пункте выполнять равномерно по времени. Контролировать в процессе наблюдений центрирование и нивелирование теодолита.

Измерение отдельных углов производят без замыкания горизонта при вращении алидады в одну сторону в первом и втором полуприемах, причем во втором полуприеме лучше измерять дополнения угла до 360°. Во втором приеме вращение алидады осуществляется в обратном направлении.

Число приемов при измерении отдельного угла и число круговых приемов по типам теодолитов приведены в таблице

Типы приборов	Число приемов		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
T2	6	2	2
T5	-	3	3

Допуски на измерения указаны в таблице

Элементы измерений, к которым относятся допуски	Типы приборов	
	T2	T5
Расхождение между значениями одного и того же угла, полученного из двух полуприемов	8"	0.2'
Колебания значения угла, полученного из разных приемов	8"	0.2'
Расхождения между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема	8"	0.2'
Колебание значений направлений, приведенных к общему нулю, в отдельных приемах	8"	0.2'

**Оценка точности результатов полевых измерений горизонтальных углов** может быть выполнена:

а) по внутренней сходимости

- из многократных измерений по уклонениям от среднего. Средняя квадратическая ошибка измерения угла одним приемом

$$m'_\beta = \sqrt{\frac{[V^2]}{n-1}}$$

Средняя квадратическая ошибка измерения угла  $n$  приемами

$$M^1_\beta = \sqrt{\frac{[V^2]}{n(n-1)}},$$

где  $V_i = \beta_i - \beta_{\text{сред}}$ .

б) по невязкам ходов

- угловым невязкам

$$m_\beta = \sqrt{\frac{f_\beta^2}{N}},$$

где  $(n+1)$  - число углов в ходе,  $N$  - число ходов;

$f_\beta = \sum_1^{n+1} \beta_i - (\alpha_k - \alpha_n) - 180^\circ(n-1)$  - невязка хода разомкнутого

### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

1) Суть метода трехштативной системы?

2) Описать действия при измерении углов способом круговых приемов.

3) Описать действия при измерении углов способом отдельного угла?

4) От чего зависят допуски на измерения углов на пунктах полигонометрии?

5) В чем заключается оценка точности результатов полевых измерений горизонтальных углов?

## Лекция №92. Расчет количества приемов и точности измерения горизонтальных углов в полигонометрии.

Планово-высотные геодезические сети обеспечивают территорию участка системой плановых пунктов и реперов для последующего производства крупномасштабных съемок.

Класс и разряд геодезического обоснования на объекте зависит от площади участка съемки.

Осваиваемая территория должна обеспечиваться определенным числом равномерно расположенных пунктов. Для застроенных территорий необходимо иметь не менее четырех пунктов на 1 кв.км, а для незастроенных – не менее одного опорного пункта.

Обеспечивая определенную плотность и точность пунктов, всегда следует стремиться к уменьшению возможного числа ступеней обоснования. Это служит гарантией отсутствия недопустимых невязок в сетях более низкого класса за счет ошибок исходных данных.

Ходы полигонометрии делятся на вытянутые и изогнутые. Установим предел, в котором можно считать ход вытянутым или изогнутым. Он необходим и при расчетах точности ходов при их проектировании и при оценке точности и уравнивании ходов, проложенных на местности. Ход будет вытянутым, если выполняется соотношение

$$\frac{[S]}{L} \leq 1.3$$

где  $[S]$  - длина хода;  $L$  - замыкающая хода.

Для расчета точности измерения углов принимаем, что

$$T_{cp.} = 2T$$

$T$  – знаменатель предельной допустимой относительной невязки хода

$T_y = T_n = T_{cp.} \sqrt{2}$ , где  $T_y$  – знаменатель средней квадратической ошибки хода, вызванный погрешностями в угловых измерениях,  $T_n$  – в линейных измерениях.

Примем коэффициент понижения точности развиваемого обоснования по сравнению с точностью исходной геодезической сети более 2.2, в этом случае ошибки исходных данных пренебрегаемо малы, учитывать их при расчетах не будем.

Допустимая длина полигонометрическая хода между узловой и исходными точками

$$L_{уз.} = MT_{cp.} \sqrt{n}$$

при  $M = 0.2$  мм на плане.

Если ход одиночный, опирающийся с обоих концов на твердые пункты, то допустимую величину хода можно определить

$$L = 2\sqrt{2}T_{cp.}M$$

Для расчета требуемой точности измерения углов применяется формула

$$m_{\beta} = 1 / \sqrt{2T_{cp.}} \rho \sqrt{\frac{12}{n+3}}$$

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

- 1) В каком случае ход полигонометрии считается вытянутым?
- 2) В каком случае ход полигонометрии считается изогнутым?
- 3) Какая формула применяется для расчета требуемой точности измерения углов в ходе полигонометрии?

4) Чему равной принимается допустимая длина полигонометрическая хода между узловыми и исходными точками?

### Лекция №93. Источники ошибок (редукция, центрировка, инструментальные, внешняя среда, личностные)

Измерение углов в полигонометрии сопровождается ошибками: в установке визирных целей, центрировании теодолита, инструментальными, влияния внешних условий, собственно измерений и исходных данных, которые создают поперечный сдвиг хода.

При проектировании, как правило. Полагают, что работы в полигонометрии будут так организованы, что продольный и поперечный сдвиги в вытянутых ходах будут одинаковы, т.е.

$$m_u^2 = m_i^2 = \frac{M^2}{2},$$

где  $m_u$  - поперечный сдвиг,  $m_i$  - продольный сдвиг хода.

Принимая независимый характер действия источников ошибок измерения углов на поперечный сдвиг, имеют СКО для одного источника равной

$$\frac{m_u}{\sqrt{6}} = \frac{M}{\sqrt{12}},$$

$$\text{где } m_u = \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{n+3}{12}}.$$

Переходя к предельному влиянию на один угол одного случайного источника ошибок имеют

$$\text{пред. } \Delta\beta_{\text{случ.}} = \frac{\rho}{T\sqrt{n+3}},$$

где  $1/T$  – предельная относительная ошибка хода.

С учетом характера влияния на измеренный угол каждого из источников ошибок легко установить допустимые ошибки установки визирных целей и центрирования теодолита, соответственно по формулам

$$e_p = \frac{m_p}{\rho} S, \quad e_u = \frac{m_u}{\rho\sqrt{2}} S, \quad \text{где}$$

$$m_p = m_u = m_{\text{ин.}} = m_{\text{с.и.}} = m_{\text{в.у}} = m_{\text{н.д}} = \frac{np \cdot \Delta\beta_{\text{случ.}}}{3},$$

$S$  - наименьшая длина стороны.

Анализ полученных данных показал необходимость центрирования прибора и марок только оптическим центриром, особенно при коротких длинах сторон.

Инструментальные ошибки имеют или систематический или случайный характер влияния это ошибки деления лимба, остаточное влияние 2С, наклона оси вращения трубы, рен, эксцентриситет, неустойчивость прибора и др. Борьба с приборными ошибками сводится к продуманной методике измерений или выявлению и устранению их тщательной юстировкой.

Например, влияние на результат измерений ошибок в делениях ослабляется, если использовать большее число диаметров лимба, т. е. Между приемами переставлять лимб на величину  $\frac{180^0}{m}$ , где  $m$  -

число приемов. Часть инструментальных ошибок (2с, наклон трубы и др.) существенно ослабляются, если угол измерять при КЛ и КП и брать среднее его значение.

Опасным источником ошибок при измерении углов является влияние внешних условий, к которым можно отнести:

1. загрязненность атмосферы (при плохой видимости ошибка визирования может увеличиться до 4 раз);
2. турбулентное состояние приземного слоя атмосферы (требует значительно удалить визирный луч от земной поверхности до 2 м);
3. боковой ветер;
4. слабый грунт (забивать колья под ножки штатива);
5. односторонний нагрев штатива (использовать зонт, прокладывать ход в пасмурную погоду);

6. боковая рефракция (прокладывать ход по тенистым сторонам улиц города, удалять стороны ходов от зданий, особенно бетонных. Измерять углы в пасмурную погоду, в летние солнечные дни – только в утренние и вечерние часы).

*Неустойчивость прибора может быть вызвана:*

1. неустойчивостью штатива;
2. неустойчивостью подставки;
3. вибрацией, транспортной тряской.

Ошибки исходных данных на измерения не влияют, но их наличие увеличивают угловую невязку.

*Ошибка собственно измерения угла вычисляется по формуле*

$$m'_\beta = \sqrt{\frac{1}{n} (m_{\text{виз}}^2 + m_0^2)}$$

где ошибка визирования, ошибка отсчета для 2Т2  $m_0 = 1''$ , Г – увеличение зрительной трубы.

### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### **Контрольные вопросы:**

- 1) Укажите источники ошибок в полигонометрии?
- 2) По какой формуле вычисляется ошибка измерения угла?
- 3) Какие ошибки при угловых измерениях вызываются влиянием внешней среды?
- 4) Что такое ошибка визирования? От чего она зависит?
- 5) Чем может быть вызвана неустойчивость прибора?

### **Лекция №94. Точные теодолиты. Поверки и исследования точных теодолитов.**

Угловые измерения в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов выполняют точными теодолитами типов: Т2, 2Т2, Т5 с оптическими микрометрами и двухсторонней системой отсчета, Theo 010, Theo 020 Theo 015 и т.п.

2Т2 – средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла 2'', увеличение зрительной трубы 27.5 крат, цена деления отсчетного устройства - 1''; цена деления уровней: на алидаде горизонтального круга 15'', на алидаде вертикального круга -15''.

Все точные теодолиты приспособлены для работы по трехштативной системе.

*Поверки точных теодолитов и угломерного комплекта*

До начала работ проводят осмотр, поверки теодолита и всего угломерного комплекта, выполняют исследования и определяют метрологические характеристики теодолита.

При осмотре проверяют комплектность прибора, сохранность оптических деталей, ампул уровней; фиксацию зеркала подсветки; плавность вращения зрительной трубы, подъемных и наводящих винтов прибора, чистоту оптики, четкость изображения сетки нитей, штрихов шкал кругов и шкал микроскопа и т.д.

В качестве визирных целей в полигонометрии применяют марки, точную установку которых над центрами полигонометрических пунктов проводят с применением оптических центриров. Визирная марка должна удовлетворять двум условиям:

- Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения марки;
- Ось симметрии рисунка марки должна совпадать с осью вращения марки.

При измерении горизонтальных углов в полигонометрии по методу трех штативов производят поверку условия трехштативной системы. На одной и той же подставке, укрепленной на штативе, поочередно устанавливают теодолит и марки, входящие в угломерный комплект. Оси вращения в подставке теодолита и марок должны совпадать, т.е. вращение должно быть соосным. Поверку проводят с помощью вспомогательного теодолита или другого геодезического прибора, установленного в стороне



от поверяемого комплекта на 50-70 м. Вертикальную нить вспомогательного теодолита наводят на ось вращения контролируемого прибора (на иглу или другой тонкий предмет, устанавливаемый на ручке теодолита или марке). Допустимым считается отклонение до 1 мм.

*Исследование точных теодолитов, определение метрологических характеристик*

Чтобы убедиться в том, что теодолит удовлетворяет определенному классу точности, необходимо выполнить его исследования, определить его технические, в том числе и метрологические характеристики.

Для целей измерения углов в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов выполняют исследования зрительной трубы с фокусирующим устройством, кругов и отсчетных приспособлений, осевых систем, уровней и компенсаторов наклона.

**Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

**Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

**Контрольные вопросы:**

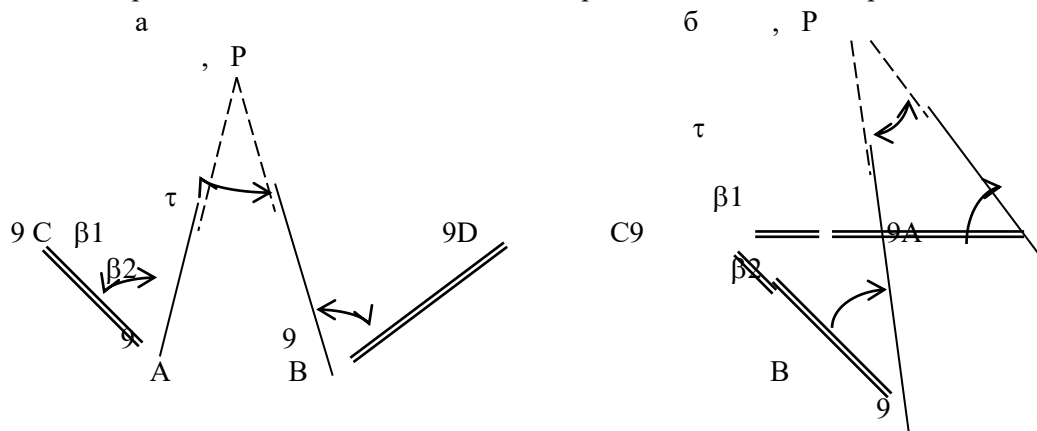
- 1) Назовите точные теодолиты.
- 2) Какие теодолиты считаются точными?
- 3) Назовите основные поверки точных теодолитов.
- 4) Назовите основные исследования точных теодолитов.
- 5) Отличие поверок от исследований?

**Лекция №95. Способы привязки ходов полигонометрии к государственным сетям.**

Полигонометрические ходы опираются на пункты государственной геодезической сети. Висячие ходы не допускаются. Может иметь место непосредственная привязка хода, когда измеряют примычные углы и линии; привязка к недоступным пунктам (сносение координат с вершины знака на землю) и привязка к удаленным пунктам (однократные и многократные засечки).

Прямая угловая засечка, широко используемая при точных геодезических работах, заключается в определении координат точки по измеренным на двух исходных пунктах горизонтальным углам  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (рис.1)

При азимутальной засечке в исходных пунктах А и В гиротеодолитом измеряют азимуты линий АР и ВР и при необходимости вводят в них поправки за сближение меридианов.



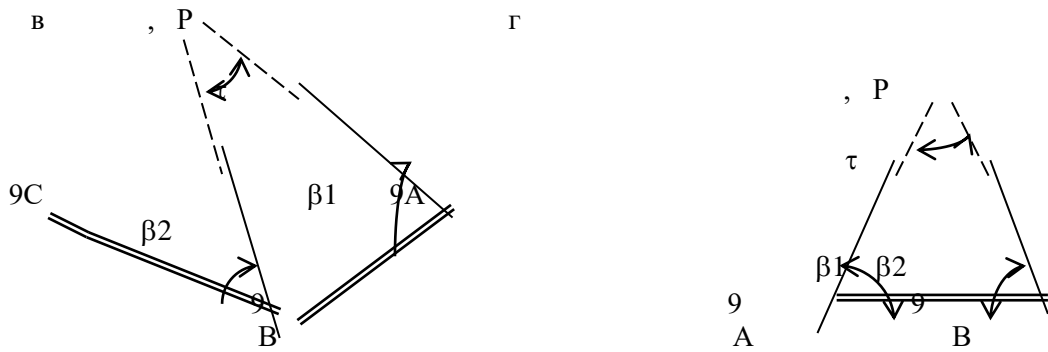


Рис.1 Прямые угловые засечки

Линейная засечка. Засечка производится путем измерения расстояний  $S_1$   $S_2$  соответственно от двух исходных пунктов 1 и 2.

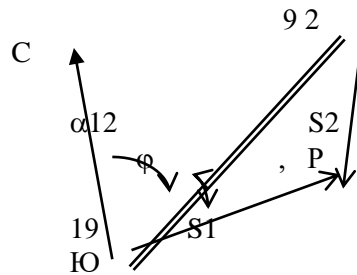


Рис.2 Линейная засечка

Линейно-угловые засечки, в которых сочетаются угловые и линейные измерения, позволяют сократить число станций, количество избыточных измерений и исходных пунктов, при этом точность измерений не снижается.

Для определения положения пункта способом прямой линейно-угловой засечки необходимо измерить горизонтальный угол  $\beta$  на одном из исходных пунктов и расстояние  $S$  между определяемым и исходным пунктами.

Возможны два варианта обратной засечки определяемого пункта: по двум несмежным углам и по двум смежным углам. Определение положения точки по двум смежным углам (рис. 3) называется задачей Потенота.

Это частный случай общей обратной засечки .

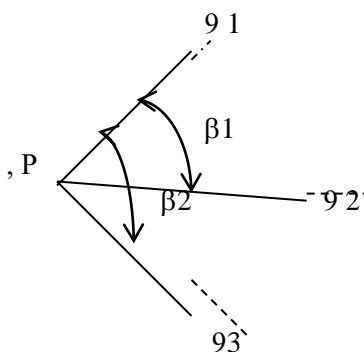


Рис.3 Типовая схема обратной однократной засечки

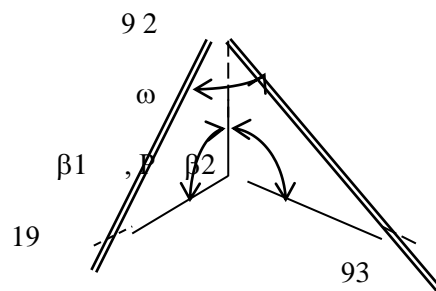


Рис. 4 Задача Потенота

Обратные линейно-угловые засечки. При выполнении привязочных работ к пунктам настенной полигонометрии, при разбивочных и съемочных работах могут широко применяться обратные линейно-угловые засечки, в которых углы измеряются в определяемых точках, а расстояния – между определяемыми и исходными пунктами.

#### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.  
 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.  
 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

**Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.  
 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.  
 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

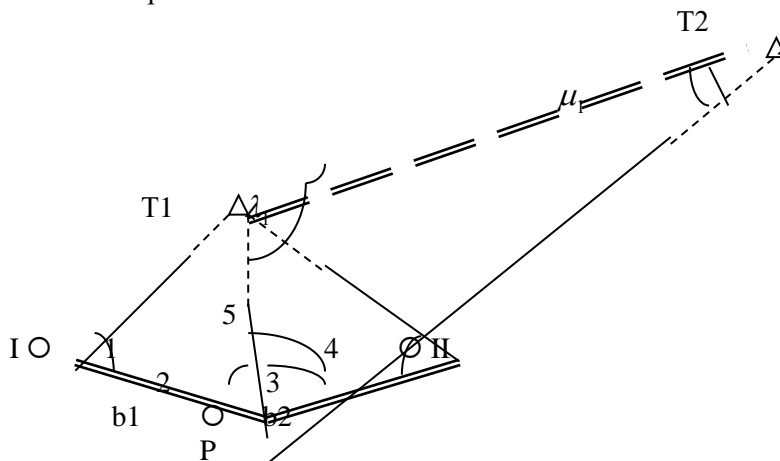
**Контрольные вопросы:**

- 1) Что такое непосредственная привязка ходов полигонометрии к государственной нивелирной сети?  
 2) Суть задачи Потенота.  
 3) Суть прямой угловой засечки.  
 4) Суть обратной угловой засечки.  
 5) Что определяется в результате привязки ходов полигонометрии?

**Лекция №96. Передача координат с вершины знака на землю**

В полигонометрии может иметь место привязка к недоступным пунктам (сносение координат с вершины знака на землю).

По известным координатам пунктов T1, T2 (рис. ), измеренным базисам и углам определяются координаты пункта хода полигонометрии на земле.



Вычисление выполняют по формулам:

$$x_P = x_1 + \Delta x_{TP}, \quad y_P = y_1 + \Delta y_{TP}; \quad \Delta x_{TP} = S \cos \alpha_{TP}; \quad \Delta y_{TP} = S \sin \alpha_{TP};$$

$$\alpha_{TP} = \alpha_{TT_2} + \lambda_1; \quad \lambda_1 = 180 - (5 + \mu_1); \quad \operatorname{tg} \alpha_{TT_2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}; \quad \sin \mu_1 = \frac{S \sin 5}{L_1};$$

$$L_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}; \quad S = \frac{S_1 + S_2}{2}; \quad S_1 = \frac{b_1 \sin 1}{\sin(1+2)}; \quad S_2 = \frac{b_2 \sin 4}{\sin(4+3)}.$$

Оценка точности выполняется по формулам

а) средняя квадратическая ошибка в положении знака

$$M_P^2 = M_S^2 + \frac{M_\alpha^2}{\rho^2} S^2;$$

**Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб  
 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.  
 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.  
 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

**Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

**Контрольные вопросы:**

- 1) В каких случаях возникает привязка к недоступным пунктам?
- 2) По какой формуле вычисляются координаты пункта при привязке его к недоступным пунктам?
- 3) Что должно быть известно при привязке к недоступным пунктам?
- 4) Что измеряется при привязке к недоступным пунктам?
- 5) Точность привязки к недоступным пунктам.

## Тема 17. Линейные измерения в полигонометрии

### Лекция №97. Методы линейных измерений в полигонометрии. Источники ошибок при измерении расстояний подвесными мерными приборами.

Наиболее трудоемким в полигонометрии считается процесс линейных измерений. Различают два способа: непосредственных и косвенных измерений. В первом способе длины линий измеряют светодальномерами, подвесными мерными приборами. Во втором – длины сторон ходов вычисляют по измеренным вспомогательным величинам. В связи с этим по методу создания полигонометрические хода разделяют на полигонометрию светодальномерную, короткобазисную, створно-короткобазисную, параллактическую и траверсную (измерение длин линий подвесными мерными приборами).

При проложении полигонометрических ходов длины линий измеряются мерными лентами, подвесными проволоками, оптическими дальномерами, свето- и радиодальномерами.

**Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

**Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

**Контрольные вопросы:**

- 1) Назовите два основных способа измерения длин линий в полигонометрии.
- 2) Суть способа непосредственных измерений.
- 3) Суть способа косвенных измерений.
- 4) Как делятся полигонометрические хода по методу их создания?
- 5) В каком способе длины линий измеряют светодальномером?

### Лекция №98. Сущность параллактических методов измерений расстояний.

**Параллактическим методом** определения расстояний называется такой, в котором расстояние определяется тригонометрическим путем по точно измеряемому малому базису и лежащему против него острому параллактическому углу, а также по измеряемому с меньшей точностью при базисному углу, образуемому пересечением базиса с определяемой линией.

Параллактический метод измерения длин применяют, когда светодальномер отсутствует, а измерение линий проволокой затруднительно или невозможно.

Параллактическим звеном называется такое геометрическое построение. В котором определяемая линия связана с базисом простыми параллактическими треугольниками или непосредственно, или посредством простейших базисных сетей.

В городских условиях наиболее удобно применять двухметровые горизонтальные жезлы. Они изготавливаются из инварного прута диаметром 8-12 мм, заключенного в дюралевую трубу диаметром 35-40 мм. Базисом является расстояние между визирными марками, укрепленными на концах инварного прута.

Наиболее удобными марками для ведения параллактических измерений являются визирные марки в виде концентрических окружностей, нанесенных на оргстекле.

Для установки жезла в горизонтальное положение служит круглый уровень, а в перпендикулярном положении к измеряемой линии – оптический визир.

Существуют различные формы параллактических звеньев.

1. Звено треугольной формы

$$S = b \frac{\sin(\varphi + \nu)}{\sin \nu}$$

$b$  - базис, измеренный проволокой. Как правило, базис составляет одно или несколько целых уложений проволоки и известен с высокой точностью.

2. Звено с симметричным расположением базиса относительно определяемой стороны

$$S = b' / 2 \operatorname{ctg} \varphi' / 2$$

3. Звено ромбической формы с ассиметричным базисом

$$S = S_1 + S_2 = \frac{b + 2y}{2} \left( \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1 + \Delta_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2 + \Delta_2}{2} \right)$$

4. Сложное звено

$$S = b \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} (\operatorname{ctg} \varphi_2 + \operatorname{ctg} \varphi_3)$$

При короткобазисном параллактическом методе используются точные оптические теодолиты, жезлы специальной конструкции с инварными полосами 2–3 м и визирные марки.

Короткобазисный метод полигонометрии может быть использован в полигонометрии 1 и 2 разряда.

Разряд полигонометрии	Длина жезла, м	Максим. расстояние от прибора до жезла, м	Мин. параллактический угол
1	3	70	2°30'
1	2	50	2° 30'
2	3	90	155°
2	2	60	155°

При измерении линий полигонометрии 1 разряда в стесненных условиях наиболее рациональным параллактическим звеном следует считать звено ромбической формы. Оно позволяет определить линии с большой точностью. Линии измеряют цепочкой ромбических звеньев длиной 40–60 м каждое, разбиваемых в створе измеряемой линии, поэтому такой метод измерения линий получил название створно-короткобазисного-створно-короткобазисный параллактический метод. Применяется только в полигонометрии 2 разряда.

Параллактические углы необходимо измерять с высокой точностью, но при минимальном количестве приемов. Углы измеряет один наблюдатель одним и тем же прибором, но при измерении угла  $\varphi$  визируют на марки жезла без сдвига зрительной трубы в вертикальной плоскости, а при измерении угла  $\beta$  - на марки, поставленные вместо жезла и прибора, т.е со сдвигом зрительной трубы в вертикальной плоскости. Исходя из этого, для получения одинаковой точности при измерении параллактических углов следует углы  $\varphi$  на визирные марки жезла измерять полуприемами, а углы  $\beta$  на визирные марки, установленные на концах вспомогательного базиса – полными приемами.

Основными источниками ошибок измерения линий параллактическими методами являются:

Ошибка в длине жезла, длина жезла не реже одного раза в месяц контролируется на полевом компараторе;

Неперпендикулярность жезла визирному лучу, которая не должна превышать 20', жезл устанавливают по коллиматорному визирю.

Инструментальные ошибки, личные ошибки, влияние внешней среды. Измерение параллактических углов выполняют 4 приемами.

Измерение расстояний оптическими точными дальномерами. Дальномеры двойного изображения типа Редта 002 и ОТД (Д-2) при благоприятных условиях обеспечивает точность измерения линий в полигонометрии 2 разряда 1/5000.

#### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

1) Назовите основные источники ошибок при измерении линий параллактическим методом?

2) Что такое параллактический метод измерения расстояний?

3) Что такое параллактические углы?

4) Что такое параллактическое звено?

5) Метод короткобазисной полигонометрии.

#### **Лекция №99. Измерение расстояний подвесными мерными приборами.**

*Измерение длины подвесной инварной проволокой.* Инвар- это сплав из стали, никеля и других примесей. Сплав инвара имеет малый коэффициент линейного расширения, примерно в 30 раз меньше стали, что не требует большой точности измерения температуры.

В комплект базисного прибора (БП-1,БП-2,БП-3), кроме проволок длиной 24 м, входят: лента для измерения остатка, блочные станки, гири, целики со штативами и лотаппарат.

В настоящее время базисные приборы находят применение в полигонометрии, главным образом, при измерении базисов и полевых компараторов для эталонирования светодальномеров.

Инварные проволоки на концах имеют шкалы по 8 см с 1 мм делениями.

Эталонирование или метрологическую аттестацию рабочих мер (инварных проволок) выполняют сравнением их длины с длиной образцовых мер (инварных 3-метровых жезлов) на 24- метровых компараторах.

Эталонирование рабочих мер для измерения длин сторон в полигонометрии 1 и 2 разрядов допускается проводить на полевых компараторах, которые создают в районе работ. Полевой компаратор длиной 120 или 240 метров выбирают на равнинной местности с устойчивым грунтом. Его концы закрепляют грунтовыми знаками. Длину компаратора определяют из шестикратного измерения его двумя инварными проволоками (прямо и обратно). Длину рабочей проволоками определяют из 4-х кратного измерения компаратора, разность не более 0.3 мм.

Для измерения длины линии теодолитом в створе устанавливают целики на штативах с интервалом 24 м. Для измерения длины одного пролета около целиков ставят блочные станки и на них подвешивают мерную проволоку с натяжением гирями весом 10 кг. Шкалы лент должны соприкасаться со сферической поверхностью целиков, где нанесен крест.

Длину одного пролета определяют по формуле

$$l = l_0 + П - З$$

где  $l_0$  - длина хорды, а П и З – передний и задний отсчеты по шкалам, взятые до 0.1 мм. Для повышения точности каждый пролет измеряют несколько раз и несколькими проволоками.

В длину измеренной линии вводят поправки за превышение между целиками, за разность температур в момент эталонирования и в момент наблюдений, за переход на поверхность эллипсоида, за редуцирование на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера.

**Источники ошибок.** При измерении линий проволоками действуют систематические ошибки за: компарирование, вешение линии, натяжение проволоки, действие ветра и случайные ошибки: за наклон мерного прибора, температуру, неустойчивость штативов, собственно измерение линии.

Систематические ошибки возрастают пропорционально числу пролетов в ходе, случайные – пропорционально корню квадратному из числа пролетов в одной линии.

Величина влияния одного источника систематических или случайных ошибок на один пролет

$$\Delta l_{пр.сист.} = \frac{l}{5.3T}, \quad \Delta l_{пр.случ.} = \frac{\sqrt{Sl}}{5.3T}.$$

**Порядок измерения.** В полигонометрии 4 класса длины линий измеряют двумя инварными проволоками в одном направлении или одной проволокой (прямо и обратно) методом отсчетов. На каждом пролете производят три пары отсчетов. Между парами отсчетов проволоку сдвигают на 1-2 см. Расхождения трех разностей не должны превышать 1 мм.

Длины сторон в полигонометрии 1 разряда измеряют одной инварной проволокой в одном направлении. В полигонометрии 2 разряда – одной проволокой в одном направлении, методом фиксации концов проволоки (нулей шкал).

В процессе полевого сезона длины проволок систематически контролируют на полевых компараторах.

Длину линии вычисляют по формуле

$$S = (l_0 + \Delta l)n + \Sigma(\Pi - 3)_{cp.} + \Delta S_t + \Delta S_h + \Sigma r,$$

где  $\Delta l$  - поправка за компарирование;  $n$  - число полных пролетов;  $\Sigma(\Pi - 3)$  - сумма средних разностей на  $n$  пролетах;  $\Delta S_t = \alpha l_0 \Delta t n$  - поправка за температуру;  $\Delta S_h$  - сумма поправок за приведение длин пролетов к горизонту;  $r$  - сумма остатков.

#### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

1) Что входит в комплект базисного прибора БП-3?

2) Что такое инвар?

3) Что такое эталонирование рабочей меры?

4) Порядок измерения инварными проволоками в полигонометрии 4 класса.

5) Основные источники ошибок при измерении длин линий инварными проволоками?

### Лекция №100. Светодалномерная полигонометрия. Классификация светодалномеров и их точность.

В основе топополигонометрии лежит светолокация, т.е. определение расстояния до объекта по отраженным от него световым волнам.

В геодезических целях используется лишь небольшая часть диапазона электромагнитных колебаний: радиоволны – от длинных волн до волн сантиметровой и миллиметровой длины и волны инфракрасного и видимого участков спектров.

В соответствии с этим различают радио- и светолокацию и делят существующие для ее проведения приборы на радиодальномеры и светодалномеры.

Геодезические радиодальномеры предназначены для измерения расстояний от нескольких сотен метров до нескольких десятков километров.

Светодалномеры предназначены для высокоточного измерения расстояний

*Топографические светодалномеры, их основные технические характеристики и особенности конструкций.*

Предусмотрены светодалномеры: Г- геодезические, для измерения длин линий в ГГС; Т- топографические, предназначенные для измерения длин линий в геодезических сетях сгущения и топографических съемках; П – прикладной геодезии и маркшейдерии.

2СТ10 – вторая модель светодалномера топографического для измерения расстояний до 10 км.

Технические характеристики	Светодалномеры			Тахеометры	
	СТ 5	СМ5	2СМ2	Та3	Та5
Средняя квадратическая ошибка измерения расстояния, мм	10+5/км	30	20	10+5/км	20
Измеряемые расстояния, м	0,2-5000	2-500	2-2000	0,5-5000	2-2500
Время измерения в минутах	0,2	0,2	2	0,2	0,4
Метод фазовых измерений	Цифровой импульсный	Цифровой импульс-	Цифровой	Автоматический цифро-	цифровой

		ный		вой им-пульс-ный	
--	--	-----	--	------------------	--

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

- 1) Что лежит в основе светодальномерной полигонометрии?
- 2) Чему равна средняя квадратическая ошибка измерения расстояния светодальномером СТ 5?
- 3) Для каких целей предназначены топографические светодальномеры?
- 4) Для измерения каких расстояний предназначены радиодальномеры?
- 5) Можно ли измерять длины линий в ходах полигонометрии светодальномерами?

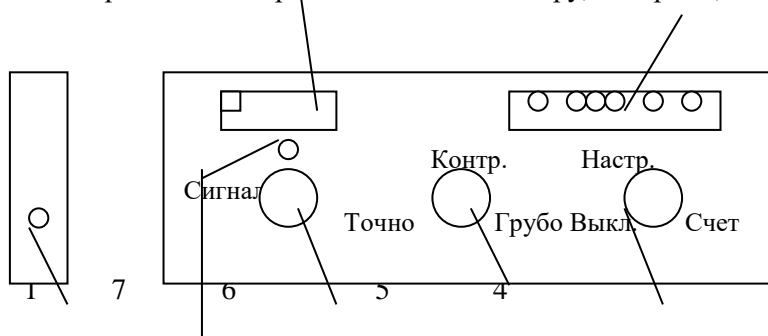
### Лекция №101. Принцип устройства и работы малых светодальномеров.

Первым советским светодальномером был 2СМ2. Средняя квадратическая ошибка измерения расстояний 2 см. Имеет цифровое табло. Находит широкое применение на производстве.

В комплект светодальномера 2СМ2 приемопередатчик, электронный блок, два источника питания, два тригель-призменных отражателя, два оптических центрира, термометр-пращ, барометр и три штатива. Светодальномер 2СМ2 представляет собой электронно-оптическую систему, в которой используется фазовый метод измерения расстояния.

Светодальномер СТ 5 «Блеск», разработан на базе СМ 5. Работает в режиме точно на частоте 14 985.5 кгц и в режиме грубо на частоте 149.855 кгц. Излучатель на GaAs диоде излучает импульсы длительностью 10 нс. Светодальномер СТ 5 имеет малые габариты (5 кг, а без основания 3.8 кг), надежен, удобен в работе и обеспечивает высокую производительность труда. Излучатель (диод) излучает импульсы. Излучение проходит через отверстия и диафрагмы, отражается призмой и направляется объективом на отражатель. На световое табло со счетного блока выдается информация об измеренном расстоянии в режиме грубо до 1 см, в режиме точно до 1 мм.

Светодальномеры до начала работ подлежат осмотру, поверкам, исследованиям.



Лицевая панель и подставка с выходом звукового сигнала

Подключение приемопередатчика СТ5 к аккумулятору производят, когда переключатель 4 установлен в режиме «Выкл.». О подключении прибора к аккумулятору свидетельствует свечение запятой в третьем знаке на цифровом табло 3.

1. Напряжение аккумуляторных батарей должно быть достаточным.

Переключатели 5 и 4 устанавливаются в положение «Контр» и «Счет». Если на стрелочном приборе 2 показание равно 60мкА или более, то зарядка достаточна. Порывистые звуки зуммера 1 свидетельствуют о разрядке аккумулятора и необходимости его замены.



2. Контрольный отсчет на табло должен быть равен значению, указанному в «Техническом описании и инструкции по эксплуатации» светодальномера.

Переключатель 5 в «Точно», 4 – «Счет». На объектив надевают блок контрольного отсчета. 6 устанавливаюи 50. Если отсчеты на табло не отличаются от значения контрольного отсчета более чем на 3 мм, то условие выполнено, значит постоянная светодальномера равна нулю.

3. Счетный блок должен функционировать нормально. В режиме «Точно», «Счет» на всех индикаторах высвечиваются цифры 8.

4. Схема измерения температуры кварцевого генератора должна действовать. В режиме «контр.», «счет» каждый последующий отсчет на табло не должен отличаться от предыдущего на 5 единиц.

Если условия 3 и 4 не удовлетворяются, светодальномер подлежит ремонту.

#### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

1) Порядок измерения расстояний светодальномером СТ5.

2) Что входит в комплект топографического светодальномера?

3) Чему должен быть равен контрольный отсчет на табло светодальномера?

4) Дайте описание лицевой панели светодальномера.

5) Как определить, что счетный блок светодальномера функционирует нормально?

#### **Лекция №102. Измерение расстояний светодальномерами**

*Основное уравнение фазовой дальнометрии, источники ошибок и расчет точности измерения расстояний топографическими светодальномерами.*

Идея непосредственного измерения времени прохождения света от приемопередатчика до отражателя и обратно обусловлена чрезвычайно высокой степенью точности его фиксирования  $[1 \cdot 10^{-10} \text{ с}]$ , поэтому не реальная в полевых условиях на современном этапе развития науки и техники.

$$2D = \nu \tau,$$

где  $\nu$  - скорость распространения колебаний;  $\tau$  - время прохождения луча от светодальномера до отражателя и обратно, определяется косвенным путем, через разность фазовых углов и угловую скорость.

$$\tau = \Delta\Psi / \omega$$

Уравнение для фазовой дальности

$$D = \nu / 2f \left( N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \text{ или } D = \lambda / 2(N + \Delta N), \text{ где } \Delta\varphi / 2\pi, \text{ а } \lambda - \text{длина волны.}$$

Светодальномером СТ5 наклонное расстояние определяют по формуле

$$D = D_{\text{изм.}} + \Delta D_{t,p} + \Delta D_{\text{ц}}$$

Первая поправка учитывает изменение температуры, давления воздуха и температурное изменение частоты кварцевого генератора; вторая – поправка за циклическую погрешность.

#### *Измерение линий топографическими светодальномерами*

Для всех светодальномеров обязательным являются следующие операции.

1. Установка прибора в рабочее положение над центрами знаков, на концах измеряемой линии (центрирование, нивелирование и взаимное ориентирование приемопередатчика и отражателя).

2. Включение и прогрев прибора.

3. Проверка напряжение источника питания и выполнение других контролирующих действий в соответствии с техническим описанием и инструкций по эксплуатации прибора.

4. Точное наведение по максимуму отраженного сигнала, проведение пробных измерений.

- Измерение давления и температуры воздуха.
- Измерение расстояния по установленной программе.
- Измерение угла наклона и высоты приборов приемопередатчика и отражателя над центрами знаков.

8. Вычисление длины линии.

Светодалномер «Блеск» СТ5 применяют для измерения расстояний в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов.

Порядок измерения расстояний. Устанавливают приемопередатчик и отражатель на штативах по оптическому центру и по уровню. Проверяют источник питания и контрольный отсчет. Наводят зрительную трубу на отражатель, а отражатель на приемопередатчик, включают светодалномер в режиме «точно», «навед.» Переключателями 5 и 4. Изменяют ориентирование светодалномера на отражатель в горизонтальной и вертикальной плоскостях вращением наводящих винтов до получения сигнала. Появление сигнала сопровождается звуком зуммера и отклонением стрелки 2 по шкале. Устанавливают ручкой 6 уровень сигнала в середине рабочей зоны. Переключатель 4 переводят в положение «счет», убеждаются в положении стрелки в рабочей зоне. После звукового сигнала, производят три отсчета измеряемого расстояния и записывают их в журнал. Определяют и записывают температуру и давление воздуха. Выполняют еще два наведения на отражатель по максимуму сигнала и отсчитывают на табло в том же режиме «точно», «счет». Переводят переключатель 5 в режим «контр» и берут отсчет для определения значения поправочного коэффициента  $K$ . По окончании измерений – «Выкл.»

#### Журнал измерения расстояний

Линия:                      Дата                      Погода  
 Наблюдатель                                                                Время  
 $t = 18\text{ C}; P = 745\text{ мм рт. Ст.}$   
 $i = 1.53\text{ м}; i_{\text{отр.}} = 1.60\text{ м.}$

Отсчеты на табло (режим «точно»)			Вычисление длины линии
1 наведение	2 наведение	3 наведение	
475,231 238 235	475,240 233 237	475,236 235 238	$K_n = -2,0$ $K_f = \pm 0,0$ $\Delta D_u = -3$ $D_T = 475,236\text{ м}$ $D_T(K_n + K_f) = +10\text{ мм}$ $\Delta D_u = -3\text{ мм}$
Ср. 475,235	475,237	475,236	$D_u = 475,243\text{ м}$ $S = 474,860\text{ м}$

Наклонное расстояние вычисляется по формуле

$$D_n = D_T + D_T(K_n + K_f) \cdot 10^{-5} + \Delta D_u$$

$D_T$  - среднее арифметическое значение отсчетов в режиме «точно» с учетом известного числа целых километров;

$K_n$  - коэффициент, учитывающий изменение показателя преломления атмосферы (определяется по температуре и давлению с графика);

$K_f$  - коэффициент, учитывающий температурное изменение частоты кварцевого генератора (определяется с графика по температуре);

$\Delta D_u$  - поправка за циклическую ошибку.

Графики прилагаются к прибору.

Горизонтальное проложение линии вычисляется по формуле

$$S = D_n \cos$$

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

- 1) По какой формуле вычисляется горизонтальное проложение линии, измеренной светодальнономером?
- 2) По какой формуле вычисляется наклонное расстояние?
- 3) Укажите основное уравнение фазовой дальнометрии?
- 4) Источники ошибок при измерении расстояния топографическим светодальнономером?
- 5) Что такое  $K_n$  ?

### Лекция №103. Современные методы измерения углов и длин линий в полигонометрии.

Развитие микропроцессорной техники привело к значительному усовершенствованию геодезических приборов, в том числе и высокоточных теодолитов. Микропроцессоры служат для обработки и передачи данных, а также для управления процессом измерения и расчета поправок, компенсирующих погрешности измерительных инструментов. Использование микропроцессоров обеспечивает большую экономичность нового поколения приборов за счет уменьшения числа обслуживающих лиц и сокращения времени на измерения при одновременном повышении точности результатов измерений.

Вместо традиционной отсчетной системы со стеклянным лимбом и оптическим микрометром в электронных теодолитах используются электронные системы измерения углов.

Например в кодовых теодолитах лимб представляет собой диск с концентрическими прозрачными или непрозрачными делениями. Против каждого деления расположен люминисцентный диод, световой луч которого, проходя отверстие в лимбе, преобразуется фотодиодом в электрический сигнал. В электронной системе измерения угла методом приращений используются лимбы с радиальными делениями, которые представляют собой набор черно- белых полей, через которые с помощью люминисцентного диода и фотодиода аналогично кодовому методу световой сигнал преобразуется в электронный (рис. ).

В последнее время на мировом рынке появился широкий выбор высокоточных электронных теодолитов и комбинированных приборов в виде электронных тахеометров.

Тахеометр – оптико-электронный прибор, совмещающий в себе электронный теодолит, светодальнономер (дальномер), вычислительное устройство и регистратор информации.

#### Российский ЗТа5

Электронные тахеометры в настоящее время выпускаются в двух основных модификациях: безотражательные и классические (визирование на отражатель). Также имеются северные экстремальные варианты тахеометров, которые способны работать при температуре –30 и ниже.

Предусмотренные в тахеометрах стандартные программы измерений (недоступные высота и расстояние, вычисление площади и пространственных координат, измерения со смещением по углу, расстоянию и двум расстояниям, вынос в натуру расстояния, координат, высоты недоступного объекта, фасадная съемка) практически изменяют традиционную роль геодезиста, превращая его в высококлассного инженера, который контролирует измерительную информацию по конкретному объекту и управляет ею.

Отмечается высокая надежность тахеометров серии 510 “Sokkia” (Япония), в том числе и в зимних условиях и при высокой влажности.

Технические характеристики	Set 1030R	Set 2030R	Set 3030 R
Увеличение зрительной трубы	30 крат	30 крат	30 крат
Точность измерения углов	1"	2"	3"
Измерение расстояний: без отражателя			

на одну призму	0.3-350 м	0.3-350 м	0.3-350 м
та три призмы	1-4000 м	1-4000 м	1-4000 м
Точность измерения расстояний:	до 5000 м	до 5000 м	до 5000 м
Без отражателя			
на одну призму	3+2ppmD	3+2ppmD	3+2ppmD
	2+2ppmD	2+2ppmD	2+2ppmD

Современные электронные дальномеры хорошо зарекомендовали себя на практике, обеспечивая в большинстве случаев объявленную разработчиками точность измерений. Светодальномер Дистомат DI 3000 (Швейцария). На его базе разработан DI 3002. Использован импульсный метод измерения расстояния, обеспечивающий высокую точность измерений.

Электронные теодолиты

T 1000 является электронным теодолитом с точностью измерения угла 3 и является идеальным инструментом для выполнения топографических и кадастровых съемок. Его можно комбинировать с любым электронным дальномером фирмы Вильд. Wild T 1600 имеет более высокую точность – 1.5. Вильд Дистомат T1600 становится электронным тахеометром, применяемым в полигонометрии, кадастровой съемке, инженерной геодезии, разбивочных работах и т.д.

Многофункциональный тахеометр ТС 1000 очень компактный, простой и удобный в эксплуатации электронный тахеометр. Точность измерения углов 3 , расстояний 3+22 и дальность измерения расстояний с одной призмой – 2км.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиришберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

- 1) Какие электронные теодолиты используются для выполнения топографических съемок?
- 2) Что такое измерение расстояния тахеометром без отражателя?
- 3) Назовите стандартные программы, предусмотренные в электронных тахеометрах.
- 4) Преимущества использования электронных тахеометров при построении сетей сгущения.

### Тема 18. Уравнительные вычисления в полигонометрии

**Лекция №104. Уравнительные вычисления в полигонометрии. Условные уравнения для одиночного хода.**

Уравнительным вычислениям в полигонометрии предшествует тщательная проверка полевых журналов, составление рабочих схем с измеренными данными, необходимый контроль и оценка точности полученных результатов измерений.

Перед началом уравнивания следует убедиться в том, что полученные полевые измерения хорошего качества, для чего полученные невязки сравнивают с допустимыми.

$$f_{\beta} = 2m_{\beta}(n + 1).$$

Линейная невязка

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$f_x = [\Delta x^2] - (x_k - x_n),$$

$$f_y = [\Delta y^2] - (y_k - y_n),$$

$$f_{Sред} = 2M,$$

где M – средняя квадратическая ошибка положения конечной точки хода.

Подсчитывают  $\frac{f_s}{[S]}$  и сравнивают с относительной ошибкой, которой должен удовлетворять прокладываемый ход.

Обширные полигонометрические сети уравнивают на ЭВМ по способу условий с дополнительными неизвестными, видоизмененному способу узлов, а также приближенными и отдельными способами. Последними, как правило, уравнивают сети полигонометрии 1 и 2 разряда.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

- 1) По какой формуле вычисляется угловая невязка в ходах полигонометрии?
- 2) По какой формуле вычисляется относительная ошибка хода полигонометрии?
- 3) По какой формуле вычисляется линейная невязка полигонометрического хода?
- 4) Цель уравнивания полигонометрических сетей?

**Лекция №105. Условные уравнения приращений координат, вычисленных по неисправленным и исправленным углам. Оценка точности положения конечной вершины хода при предварительно увязанных углах.**

В ходе, который опирается на исходные пункты и направления, есть три избыточных измерения: два угла и линия. Возникают три условных уравнения: условие дирекционных углов и два условия координат:

$$\alpha_n - \alpha_k + \sum_1^{n+1} \beta_i - 180^\circ(n-1) = 0,$$

$$\sum_1^n \Delta x_i - (x_k - x_n) = 0$$

$$\sum_1^n \Delta y_i - (y_k - y_n) = 0.$$

От заданных уравнений переходим к поправкам  $v_i, v_{si}$  измеренных углов  $\beta_i'$  и длин сторон  $S_i'$ .

Условные уравнения поправок

- для дирекционных углов

$$\sum_{i=1}^n v_i + W = 0,$$

$$W = \sum_{i=1}^n \beta_i' + \alpha_0 - \alpha_n - (n-1)180^\circ.$$

- для абсцисс

$$\sum_{i=1}^{n-1} (v_{si} \cos \alpha_i^0 - S_i' \sin \alpha_i^0 v_{ai}) + W_x = 0;$$

$$W_x = \sum_{i=1}^{n-1} S_i' \cos \alpha_i^0 + x_1 - x_n = x_n^0 - x_n.$$

для ординат 
$$\sum_{i=1}^{n-1} (v_{si} \sin \alpha_i^0 - S_i' \cos \alpha_i^0 v_{ci}) + W_y = 0$$

$$W_x = \sum_{i=1}^{n-1} S_i' \sin \alpha_i^0 + y_1 - y_n = y_n^0 - y_n.$$

В этих формулах  $\alpha_i^0, x_n^0, y_n^0$  - вычисленные значения дирекционного угла стороны  $i$  и координат конечного пункта  $A_n$ .

Из условных уравнений получают систему нормальных уравнений, которую решают под условием  $[P_\beta v_\beta^2] + [P_s v_s^2] = \min$ .

Из решения нормальных уравнений определяют корреляты, по ним – поправки в измеренные углы и длины линий.

По уравненным углам и линиям вычисляют уравненные дирекционные углы, приращения координат и координаты всех точек хода. Заключительным контролем уравнивания является совпадение координат последнего пункта из уравнивания и исходных.

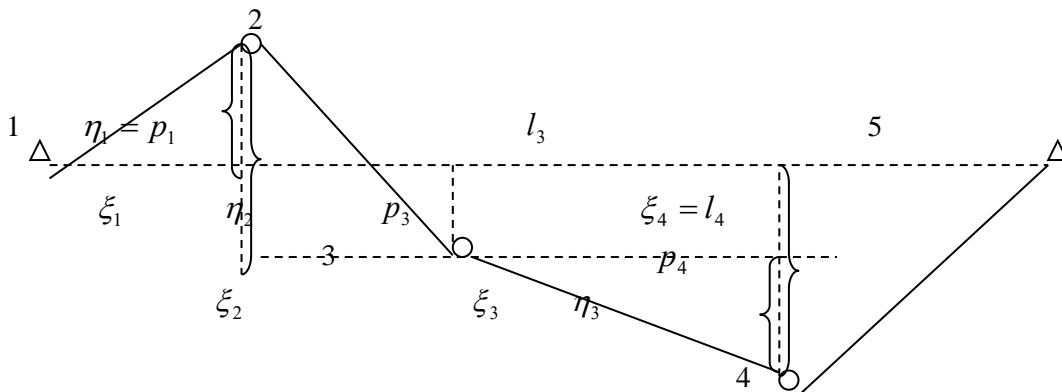
**Оценка точности положения конечной вершины хода при предварительно уязанных углах. Продольная и поперечная невязка хода**

В тех случаях, когда влиянием систематических ошибок можно пренебречь, для вытянутого полигонометрического хода с примерно равными сторонами поперечный сдвиг

$$m_q = \frac{s}{\rho} m_\beta \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}}.$$

Для случая предварительно исправленных углов поперечный сдвиг можно вычислять по формуле

$$m_u = \frac{m_\beta \sum_{i=1}^n S_i}{\rho} \sqrt{\frac{n+3}{12}}$$



Критерии вытянутости полигонометрического хода можно определить графически с рабочей схемы хода. Если начало координат совместить с конечной точкой хода, а ось X с замыкающей, то величины  $l$  будут абсциссами точек хода,  $p$  - ординатами,  $\xi, \eta$  приращения абсцисс и ординат.

Ход вытянут если

$$\begin{aligned} [p^2] &\leq 0.25[\xi^2] \\ [\eta^2] &\leq 0.45[l^2] \end{aligned}$$

Уравнивание хода, опирающегося на два исходных пункта и два дирекционных угла, подразделяется на два этапа.

Сначала в углы вводят поправки за угловую невязку и вычисляют дирекционные углы сторон хода. После этого подсчитывают невязки в координатах  $W_x, W_y$  и вводят поправки в приращения координат пропорционально расстояниям.

Рассмотрим порядок вычислений полигонометрического хода.

В графу 2 выписывают углы, лежащие влево по ходу. Внизу вычисленную сумму углов. Вычисляют угловую невязку, которую распределим с обратным знаком поровну на все углы хода.

Далее, пользуясь исправленными углами, вычисляют дирекционные углы определяемых сторон.

Вычисляем приращения координат. Прибавляя к координатам начального пункта хода суммы приращений, получим вычисленные координаты конечного пункта и невязки

$$W_x = x_{\text{выч.}} - x; \quad W_y = y_{\text{выч.}} - y$$

Полученные невязки распределяют с обратным знаком в приращения координат пропорционально длинам сторон.

Пользуясь исправленными приращениями, получают уравненные значения координат определяемых пунктов.

Контролем является вычисление координат конечного пункта.

Вычисляют отношение  $\frac{\delta L}{L} = \nu$ , где  $\delta L$  - продольный сдвиг;  $L$  - длина замыкающей.

Продольный сдвиг определяется графически на рабочей схеме: это будет проекция на замыкающую хода линейной невязки, нанесенной на схему в масштабе 1:10.

При вычислении относительной невязки пользуются значением  $W'$ , свободным от систематических влияний.

Вычисляют

$$W'_x = W_x - \nu[\Delta x]; \quad W'_y = W_y - \nu[\Delta y]; \quad W' = \sqrt{(W'_x)^2 + (W'_y)^2}$$

$$\text{Относительная невязка } \frac{W'}{[D]} = \frac{1}{[D]/W'}$$

Вершины	Измеренные углы	T	Длины линий	$\Delta x$	$\Delta y$	x	y
II	-0.2 105° 34 '49"	67° 09 '58"				4624000,00	8622000,0
2	107 56 19,1	172 44 47,4	5544,47	-5500,10	+700,04		
3	259 18 54,1	100 41 06,3	5393,52	-1000,02	+5300,00		
IV	270 00 00,1	180 00 00,2	5500,12	-5500,12	-5500,12		
		270°00 '00"				4612000,00	8628000,00
202	742° 50 '02" 67 09 58,3 270 00 00,9 $W_T = 0,8''$	$x_{IV}^{\text{выч.}}, y_{IV}^{\text{выч.}} = 4611999,76; 8626000,03$ $W_x = -24 \text{ см}; W_y = +3 \text{ см.}$					

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

- 1) Какие условные уравнения возникают в ходе полигонометрии, опирающемся на два исходных пункта?
- 2) Условные уравнения координат.
- 3) Условное уравнение дирекционного угла.
- 4) Указать формулу вычисления дирекционного угла по координатам.
- 5) Условные уравнения поправок для дирекционных углов.

- 6) Назовите критерии вытянутости полигонометрического хода.
- 7) Что такое поперечная невязка полигонометрического хода?
- 8) Что такое продольная невязка полигонометрического хода?
- 9) По какой формуле вычисляется продольный сдвиг полигонометрического хода?
- 10) По какой формуле вычисляется поперечный сдвиг полигонометрического хода?

### Лекция №106. Уравнивание полигонометрии с одной узловой точкой

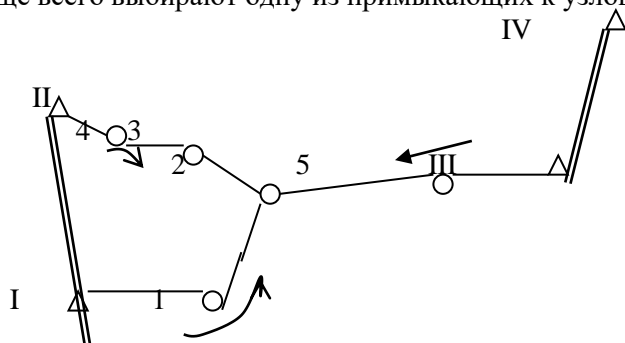
В основу положено двухступенчатое уравнивание: сначала предварительно уравнивают дирекционные углы, затем окончательно уравнивают приращения координат, вычисленные по расстояниям, исправленным поправками  $-vD_i$  и предварительно уравненным дирекционным углам. При этом приращения абсцисс и ординат уравнивают независимо, так как в уравнениях поправок они между собой не связаны.

Таким образом, уравнивание системы ходов распадается на три этапа:

- 1) уравнивание дирекционных углов;
- 2) уравнивание абсцисс;
- 3) уравнивание ординат.

Рекомендуется следующий порядок вычислений.

1. На схематическом чертеже намечают направления звеньев (если звено опирается одним своим концом на исходный пункт, то направление показывают от него) и узловые направления, в качестве которых чаще всего выбирают одну из примыкающих к узловому пункту сторон.



2. Для каждого звена составляют ведомость вычислений (с учетом выбранного направления) (табл. 1).

3. Производится уравнивание дирекционных углов на узловых пунктах (табл. 2).

4. На основе уравненных значений дирекционных углов вычисляют предварительно уравненные дирекционные углы во всех звеньях.

5. Вычисляют приращения координат и их суммы по звеньям. Эти суммы, исправленные за коэффициент систематических влияний, рассматривают в качестве измеренных величин при уравнивании координат узловых пунктов.

Для звеньев, опирающихся на исходные пункты, получают вычисленные координаты узловых пунктов, прибавляя к координатам исходного пункта исправленные суммы приращений.

6. выполняют уравнивание абсцисс и ординат узловых пунктов (табл. 3 и табл.4).

7. Выписывают в ведомости вычислений ходов уравненные координаты узловых пунктов и, считая их твердыми, вычисляют окончательные координаты всех пунктов.

При уравнивании дирекционных углов веса вычисляют по формуле

$$P_i = \frac{10}{n_i}, \text{ где } n_i - \text{число углов передачи.}$$

Приведенные веса

$$p' = \frac{P_i}{[p]}, \text{ контролем является равенство } [p'] = 1.$$

При уравнивании координат веса получены по формуле

$$p' = \frac{c}{[D]_i}, \text{ где } c - \text{периметр одного из звеньев, для которого вес } 3 \text{ принят за единицу.}$$



### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### **Контрольные вопросы:**

- 1) Основные этапы уравнивания полигонометрии с одной узловой точкой.
- 2) При уравнивании дирекционных углов веса вычисляются по формуле?
- 3) При уравнивании координат веса вычисляются по формуле?
- 4) По какой формуле вычисляются приведенные веса?
- 5) Контроль вычисления приведенных весов.

## МОДУЛЬ 8

### Тема 19. Построение высотных сетей сгущения

#### Лекция №107. Общие положения и требования к построению высотных сетей сгущения

Геометрическое нивелирование состоит в непосредственном определении превышений между двумя близкими точками с помощью горизонтального луча.

Главную геодезическую основу крупномасштабных съемок составляют пункты государственной нивелирной сети I, II, III, IV классов. Для построения высотного съемочного обоснования необходимой плотности и точности создают высотные сети сгущения.

Нивелирование III, IV классов является основным методом сгущения государственной нивелирной сети, обеспечивающим производство топографических съемок в крупных масштабах.

Требования к построению высотных сетей сгущения определяются инструкциями, техническими проектами, зависят от назначения, масштаба съемок и выбранной высоты сечения рельефа горизонталями.

Нивелирные сети сгущения создают в виде отдельных ходов, полигонов и систем ходов с обязательной привязкой и не менее чем к двум исходным реперам (маркам) высшего класса.

Высоты пунктов съемочного обоснования и высоты пунктов плановых геодезических сетей сгущения определяют геометрическим нивелированием, которое прокладывается одиночными ходами и в виде сетей.

*Проектирование, рекогносцировка ходов, закладка реперов и марок.*

Проект составляют на карте масштаба 1:10 000, 1:25 000. Перед составлением проекта собирают и анализируют все материалы ранее выполненных нивелирных работ. На карту наносят исходные реперы и марки, пункты полигонометрии 4 класса и сетей сгущения всех разрядов. Направления ходов совмещают с дорогами, просеками, берегами рек, избегая больших уклонов, заболоченных, оползневых и других участков со слабым грунтом.

Независимо от границ съемочного участка линии нивелирования III класса проектируют, как правило, в пределах полигона II класса, а линии нивелирования IV класса в пределах полигона III класса.

В техническом проекте устанавливают объем работ, их сметную стоимость, намечают технологию выполнения нивелирования и материально-техническую обеспеченность.

В текстовой части проекта указывают:

Краткую характеристику физико-географических и климатических условий района работ;

Назначение проектируемых работ;

Исходные реперы;

Сведения о ранее выполненных нивелирных работах;

Закладку реперов;

Приборы и методы нивелирования;

Оценку проекта выполняют по формуле

$$M = m\sqrt{L}$$

где  $M$  – средняя квадратическая ошибка в конце хода до уравнивания, равная предельной ошибке в середине хода после уравнивания;  $m$  – средняя квадратическая ошибка хода, длиной в 1 км (для двойного хода нивелирования III класса – 3-4 мм, для одинарного хода IV класса – 10 мм).

Величина  $M$  в наиболее слабом месте хода или сети не должна превышать 10 см, т.е. 1/5 от сечения рельефа.

Рекогносцировку и обследование на линиях III, IV классов совмещают с закладкой реперов.

В процессе рекогносцировки нивелирных ходов и сетей уточняют места установки реперов и марок. Их выбирают с учетом обеспечения долговременной сохранности, удобства привязки с возможностью вертикального расположения рейки на знаке и безопасности работ. Предпочтение отдают стенным и скальным знакам, как наиболее надежным и выгодным экономически. Рекогносцировка начинается с обследования состояния исходного репера и продолжается по направлению намеченной линии. Рекогносцировщик в поле наносит на крупномасштабную карту или на аэрофотоснимки места для закладки новых реперов, опознает местоположение существующих, составляет описание, абрисы и обозначает на местности места для закладки новых реперов.

Пункты нивелирной сети закрепляются специальными постоянными знаками – реперами (метка, знак) не реже чем через 5 км.

Нивелирные знаки должны быть изготовлены из такого материала и иметь такую конструкцию, чтобы в течении длительного времени обеспечивалась неизменность высотных отметок в пределах

точности геодезических измерений.. Разнообразие физико-географических условий страны обуславливает различные типы реперов, которые соответствуют определенным областям.

Реперы бывают вековые, фундаментальные, грунтовые и стенные.

В качестве грунтовых реперов широко применяются металлические знаки свайного типа, каменные и железобетонные монолиты. Общим является требование стабильности знаков, доступности их при измерениях и сохранности. Следует предупредить также возможное выпучивание реперов в условиях сезонного промерзания почвы.

Грунтовый репер состоит из железобетонного пилона или металлической трубы, якоря и марки на которую устанавливается рейка. Необходимо, чтобы якорь находился на 50 см ниже наибольшей глубины промерзания грунтов. В противном случае возможен подъем (выпирание) репера под воздействием сил морозного пучения.

Стенной репер изготавливают из металла и устанавливают в цокольной части каменных зданий. Предварительно пробивают отверстие, в котором закрепляют репер на цементном растворе.

В эксплуатацию стен

ные знаки вводятся не ранее чем через 3 дня после установки, а грунтовые – через 10 дней.

Возле постоянных реперов закрепляются охранные плиты и опознавательные знаки.

#### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

1) Как различаются реперы по надежности закладки?

2) Опишите любой тип грунтового репера.

3) Отличие грунтового репера от скального?

4) Какие требования предъявляются к реперам?

5) Задачи рекогносцировки нивелирных линий.

### **Лекция №108. Приборы для нивелирования III, IV классов. Особенности конструкций современных точных нивелиров, их основные характеристики.**

Нивелир – это геодезический прибор, с помощью которого определяют превышения между точками. Посредством приборов, предназначенных для производства геометрического нивелирования, обеспечивается задание горизонтального визирного луча.

*Классификация нивелиров.* Выпускаются нивелиры: высокоточные Н-05, точные Н-3, технические Н-10. В этих обозначениях цифры, стоящие после буквы Н (нивелир) указывают значение средних квадратических погрешностей определения превышений нивелирным ходом протяженностью 1 км. Нивелиры, в зависимости от их конструкции, бывают с цилиндрическим уровнем (уровенные нивелиры), с компенсатором и электронные. Некоторые нивелиры снабжены лимбом для измерения или построения горизонтальных углов. С учетом перечисленных конструктивных особенностей к названию нивелира добавляются буквы «К» и «Л», а перед буквой «Н» могут стоять цифры, обозначающие номер модели модификации прибора. Например, 2Н-10КЛ означает: вторая модификация нивелира Н-10 с компенсатором и лимбом.

В настоящее время широко используются точные нивелиры Н-3, Н-3К, их модификации. Нивелиры Ni-025, Ni-050 (ГДР), по точности могут быть приравнены к Н-3. Оптические нивелиры Leika NA 720, 724, универсальный цифровой нивелир Leika NA 2002 -1.5 мм.

Технические характеристики нивелиров

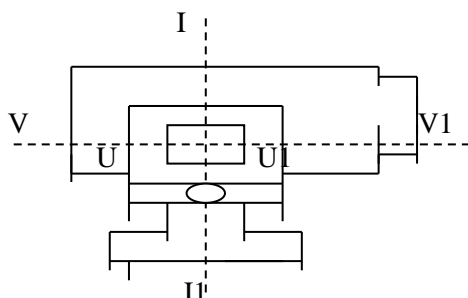
Параметр	Тип нивелира				
	Н-3	Н-3К	Ni-025	NA 720	NA 2002

Увеличение зрительной трубы, крат	30	30	20	2.5 мм	24
Наименьшее расстояние визирования, м	2	2	1.5		
Цена деления цилиндрического уровня, сек	15	-	-		
Чувствительность компенсатора	-	0.4	0.5		
Диапазон работы компенсатора (мин.)	-	15	10		12
Масса прибора, кг	2	2.5	1.9		2.5

*Уровенные нивелиры.* Основными частями нивелира являются: подставка, снабженная подъемными винтами, элевационный винт, зрительная труба, цилиндрический уровень, наводящий винт, круглый винт, закрепительный винт.

Основные оси нивелира: ось вращения прибора  $\Pi\Pi$ , визирная ось зрительной трубы  $VV^1$ , ось цилиндрического уровня –  $UU^1$ . Круглый уровень служит для приведения оси прибора  $\Pi\Pi$  в отвесное положение.

К зрительной трубе нивелира прикреплен цилиндрический уровень. При совмещении изображений концов пузырька уровня пузырьки находятся в нуль пункте. Если ось  $VV^1$ , параллельна  $UU^1$ , то с помощью элевационного винта можно наклонить трубу и, добившись совмещения концов пузырька уровня, установить ось  $VV^1$  в отвесное положение.



В настоящее время широко применяются нивелиры с компенсаторами, т.е. приспособлениями, при помощи которых линия визирования автоматически устанавливается в горизонтальное положение. Благодаря компенсатору отпадает необходимость приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт, что значительно повышает производительность труда. Принцип работы компенсатора состоит в следующем. Пусть визирная ось трубы отклонилась от горизонтального положения, проходящего через центр объектива  $O$ , на угол  $\tau$ ; тогда соответствующее смещение центра сетки нитей будет  $f\tau$ ,  $f$  – фокусное расстояние зрительной трубы.

Компенсировать угол наклона визирной оси и сделать отсчет по рейке равным отсчету при горизонтальном положении визирного луча можно тремя способами: а) переместить центр сетки нитей на величину  $f\tau$  (компенсатор с подвесной сеткой нитей); б) сместить визирный луч на такой угол, при котором этот луч прошел бы через центр сетки (компенсатор с поворотом визирного луча); в) переместить визирный луч параллельно своему первоначальному положению так, чтобы он прошел через центр сетки (компенсатор с параллельным переносом визирного луча).

Первые нивелиры с компенсаторами появились в 1945 г. (П.Ю. Стодолкевич).

Компенсаторы бывают жидкостными и маятниковыми. При применении первых используют отражающие и преломляющие свойства жидкости, верхняя поверхность которой горизонтальна, а нижняя наклоняется вместе с прибором. Так образуется оптический клин с переменным углом.

Маятниковые компенсаторы бывают механическими и оптико-механическими. В первых горизонтальность визирного луча достигается перемещением сетки нитей, а во вторых – изменением пути луча при прохождении оптических узлов, подвешенных на специальных нитях. В настоящее время разработано достаточно много различных типов компенсаторов.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

**Контрольные вопросы:**

1) Указать типы нивелиров:

А) по способу приведения визирного луча в горизонтальное положение;

Б) по точности;

В) по снятию отсчета с рейки.

2) Каких типов бывают компенсаторы в нивелирах?

3) Назовите основные оси нивелира.

4) Назовите основные части точного нивелира.

5) Классификация нивелиров.

**Лекция №109. Поверки и исследования точных нивелиров.**

Перед началом полевых работ геодезист должен убедиться в полной исправности нивелира и ре-ек, а также в том, что они отвечают тем требованиям, которые предъявляются к любому геодезическому прибору.

*Исследование нивелиров* должны установить следующее:

- для нивелиров с цилиндрическим уровнем: увеличение зрительной трубы; чувствительность цилиндрического уровня; правильность установки призмного блока; цену деления уровня; соответствие между увеличением зрительной трубы и ценой деления уровня;

- для нивелиров с компенсаторами определяется увеличение зрительной трубы, а исследование по п. 2-5 заменяются исследованием правильности и стабильности компенсатора.

- Кроме того у нивелиров обоих типов должна быть определена цена деления установочного круглого уровня и проведено исследование хода фокусирующей линзы в трубе.

До начала работы каждый нивелир подвергается внешнему осмотру, после чего выполняются его поверки и юстировка. При производстве поверок контролируют правильность взаимного расположения осей и частей нивелира. В случае, если обнаруживается несоответствие, его устраняют посредством юстировки исправления.

**Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

**Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

**Проверки нивелира с элевационным винтом Н-3**

Требование	Последовательность выполнения проверки	Результат проверки		Как устранить неисправность	Можно ли работать при наличии неисправности
		Прибор исправен	Прибор не исправен		
1	2	3	4	5	6
Ось круглого уровня должна быть параллельна на оси вращения прибора	1. Подъемными винтами привести пузырек круглого уровня на середину. Установить уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая их в разные стороны, привести пузырек на середину. 2. Повернуть уровень на 180°.	Пузырек круглого уровня остается на середине	Пузырек круглого уровня сместится	Исправительными винтами уровня переместить пузырек к середине деления на половину дуги отклонения	Работать нельзя
Одна из нитей должна быть перпендикулярна к оси вращения прибора	Установить нивелир по уровню и выполнить одним из следующих способов: <b>1. По вертикальной нити</b> 1. В 20-30 м от прибора повесить отвес. 2. Навести пересечение нитей на нить отвеса <b>2. По горизонтальной нити</b> 1. Навести пересечение нитей на точку местности 2. Наводящим винтом перемещать трубу по азимуту	Вертикальная линия сетки по всей длине совпадает с нитью отвеса Горизонтальная нить на всем протяжении совместится с точкой	Горизонтальная нить будет смещаться с точки	1. Вывернуть винты и снять окулярную часть трубы. 2. Отпустить на целый оборот крайние и на четверть оборота средний винты секторной пластинки 3. Не касаясь сетки, осторожно повернуть пластинку. 4. Соединить окуляр с корпусом трубы и поверить положение сетки. Сделать это несколько раз до исправления, после чего зажать винты пластинки и закрепить окулярную часть трубы.	Брать отсчет по пересечению нитей
Визирная ось трубы должна быть параллельна на оси цилиндрического уровня	1. Забить на местности с небольшим уклоном два колышка на расстоянии 50-70 м друг от друга. 2. Над одним установить нивелир, над другим рейку. 3. Привести нивелир в рабочее положение. 4. Измерить высоту инструмента в $i_1$ мм и взять отсчет по рейке (а). 5. Поменять местами нивелир и рейку. 6. Вновь установить нивелир в рабочее положение. 7. Измерить высоту прибора $i_2$ и взять отсчет b по рейке.	$x = \frac{\{(a+b)/2\} - (i_1 + i_2)/2}{2} \leq 4\text{мм}$	$x = \frac{\{(a+b)/2\} - (i_1 + i_2)/2}{2} \geq 4\text{мм}$	1. Вычислить отсчет по рейке при горизонтальном положении визирной оси по формулам: если x положительный, то $a_1 = a-x$ ; если x отрицательный, то $a_1 = a+x$ . 3. Элевационным винтом установить центр сетки на вычисленный отсчет. 3. Вертикальными исправительными винтами сместить пузырек цилиндрического уровня на середину. Сместить сетку до получения отсчета $a_1$	Устанавливать нивелир на равных расстояниях от нивелируемых точек

**Контрольные вопросы:**

- 1) Назовите основные поверки нивелира?
- 2) Назовите основные исследования нивелира.
- 3) Объясните понятия: нивелирование «вперед», «нивелирование из середины».
- 4) Каковы преимущества нивелирования из середины?
- 5) Какой основной признак геометрического нивелирования.

**Лекция №110. Нивелирные рейки, их исследования и поверки.**

Рейки для нивелирования выпускают трех типов: РН 05, РН 3, РН 10. Буква Р -рейка, Н - нивелирная, цифрами, стоящими после букв, обозначают величину средней квадратической погрешности в мм на 1 км хода. В комплекте к каждому нивелиру даются две однотипные нивелирные рейки.

Рейки РН-3, РН-10 изготавливают из дерева хвойных пород, цельными и складными. К нижнему концу рейки (пятке) приваривается металлическая пластина толщиной 2 мм. Рейки имеют на обеих сторонах шкалы, выполненные в виде сантиметровых шашек. РН-3 – двухсторонние шашачные рейки длиной 1500, 3000, 4000 мм для нивелирования с допустимой погрешностью 3 мм на 1 км хода. Рейки длиной 4000 мм изготавливаются складными. Рейки РН-3 длиной 3000 мм могут быть как складными, так и цельными. Во время работы рейки ставят на башмаки, костыли, деревянные кольца.

Каждый дециметр шкал оцифрован. На черных сторонах реек ноль (начало шкалы) совпадает с пяткой рейки, на красных сторонах с плоскостью пятки совпадает другой отсчет, например 4687. Таким образом, начало отсчета по черной и красной сторонам смещено на определенную величину. Это сделано для того, чтобы контролировать правильность отсчетов в процессе нивелирования. Разность отсчетов по черной и красной сторонам одной и той же рейки – величина постоянная.

Для точной установки рейки в отвесное положение к ней прикрепляют круглый уровень .

Допускается изготовление реек из пластмасс, металла и других материалов, обеспечивающих выполнение требований, которым должны удовлетворять рейки.

После общего осмотра реек проверяется правильность нанесения делений на каждой из них с помощью контрольной линейки.

У реек типа РН-3 погрешности нанесения сантиметровых делений не должны превышать 0.20 мм, а метровых интервалов 0.50 мм.

Параллельность оси круглого уровня продольным ребром рейки проверяется по отвесу в закрытом от ветра помещении. При отсутствии отвеса установку круглого уровня можно проверить по вертикальной нити трубы нивелира, находящегося на расстоянии 50-60 м от рейки. Сначала рейку ставят ребром, а затем плоскостью к нивелиру и наблюдают отклонения пузырьков от середины ампулы. Отклонившийся пузырек возвращается на середину с помощью юстировочных винтов. Правильность установки уровня по рейке проверяется ежедневно.

**Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

**Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

**Контрольные вопросы:**

- 1) Укажите типы нивелирных реек, их характеристику?
- 2) Каковы правила обращения и работы с нивелирной рейкой?
- 3) Что значит: сделать отсчет по рейке? Как он производится?
- 4) Что такое костыль, башмак? Каково их назначение?
- 5) Что означает шифр у рейки РН-3?

### Поверки реек РН-3

Требование	Последовательность выполнения поверки	Результат поверки		Как устранить неисправность	Можно ли работать при наличии неисправности
Определение разности высот нулей реек	1. Забивают костыль или устанавливают башмак примерно в 10-15 м от нивелира. 2. Устанавливают на костыль или башмак первую рейку снимают отсчеты по черной и красной сторонам 2 раза 3. Устанавливают на костыль или башмак вторую рейку снимают отсчеты по черной и красной сторонам 2 раза 4. Изменяют высоту прибора и выполняют действия 2 и 3.	Разности отсчетов по черным сторонам реек не должны превышать 1 мм. Разности отсчетов по красной и черной сторонам одной и той же рейки дают разности нулей рейки.			
Определение средней длины пары реек	Определение выполняется с помощью контрольной линейки длиной 1050 мм.				



### **Лекция №111. Методы нивелирования III и IV классов. Организация и производство работ при нивелировании III класса. Полевые вычисления и контроль.**

Нивелирование III и IV классов выполняют геометрическим нивелированием, способом из середины.

Нивелирные ходы III класса прокладывают в прямом и обратном направлениях. В секции и входе рекомендуется начинать и заканчивать нивелирование одной рейкой, т.е. иметь четное число станций.

На каждой станции соблюдают следующий порядок наблюдений: черная задняя рейка (отсчет по средней нити и по дальномерным нитям), черная передняя рейка (отсчет по средней нити и по дальномерным нитям), красная передняя рейка (отсчет по средней нити), красная задняя рейка (отсчет по средней нити). На четных станциях рекомендуется начинать наблюдения с передней рейки. Нормальная длина визирного луча 75 м. При хороших условиях и увеличении зрительной трубы нивелира 35 крат разрешается увеличивать длину визирного луча до 100 м. Неравенство расстояний до задней и передней реек не должно превышать 2 м, накопление в секции и ходе допускается не более 5 м. Визирный луч над подстилающей поверхностью должен проходить не менее 0.3 м. Рейки устанавливают по уровню на костыли или башмаки.

Нивелирование III класса. Контроль и допуски. Разность между превышениями по основной (черной) и дополнительной (красной) шкалам реек не должна быть более 3 мм. Для ходов, проложенных в прямом и обратном направлениях, а также для секций (между смежными узловыми точками) вычисляют суммы превышений, которые не должны превышать  $10\text{мм}\sqrt{L}$ . Невязки в нивелирном ходе одного направления или в замкнутых полигонах, образованных из ходов одного направления не должны превышать  $10\text{мм}\sqrt{L}$ . Невязки сумм средних превышений в замкнутых полигонах не должны превышать  $7\text{мм}\sqrt{L}$ .

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Чему равна нормальная длина визирного луча в нивелировании III класса?
- 2) Указать порядок работы на станции при нивелировании III класса?
- 3) Какие нивелиры и рейки используются при нивелировании III класса?
- 4) Указать величину неравенства расстояний до задней и передней реек на станции при нивелировании III класса?
- 5) Указать накопление в секции и ходе при нивелировании III класса?

### **Лекция №112. Организация и производство работ при нивелировании IV класса. Полевые вычисления и контроль.**

Нивелирные IV ходы класса прокладывают в одном направлении.

На каждой станции соблюдают следующий порядок наблюдений: черная задняя рейка (отсчет по средней нити и по дальномерным нитям), черная передняя рейка (отсчет по средней нити и по дальномерным нитям), красная передняя рейка (отсчет по средней нити), красная задняя рейка (отсчет по средней нити). На четных станциях рекомендуется начинать наблюдения с передней рейки. Нормальная длина визирного луча 100 м. При хороших условиях и увеличении зрительной трубы нивелира 35 крат разрешается увеличивать длину визирного луча до 150 м. Неравенство расстояний до задней и передней реек не должно превышать 5 м, накопление в секции и ходе допускается не более 10 м. Визирный луч над подстилающей поверхностью должен проходить не менее 0.2 м.

Нивелирование IV класса. Разность между превышениями по основной и дополнительной шкалам реек не должна превышать 5 мм. Невязки сумм превышений в замкнутых полигонах не должны быть более  $20\text{мм}\sqrt{L}$  или  $5\text{мм}\sqrt{n}$ .

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Чему равна нормальная длина визирного луча в нивелировании IV класса?
- 2) Указать порядок работы на станции при нивелировании IV класса?
- 3) Какие нивелиры и рейки используются при нивелировании IV класса?
- 4) Указать величину неравенства расстояний до задней и передней реек на станции при нивелировании IV класса?
- 5) Указать накопление в секции и ходе при нивелировании IV класса?

#### **Лекция №113. Обработка результатов нивелирования III и IV классов.**

Полевые измерения обрабатываются в два этапа: предварительная обработка; уравнильные вычисления и составление каталога координат и высот пунктов.

Основная задача предварительной обработки – исключение возможных ошибок, допущенных при полевых вычислениях, проверка доброкачественности измерений и пригодность их к заключительной обработке – уравниванию.

В состав предварительной обработки входят:

- Проверка полевых журналов;
- Оценка результатов измерений;
- Составление схем сетей;

Вычисление предварительных высот пунктов.

В нивелирных работах для оценки можно использовать метод двойных измерений (разности превышений на станции, разности превышений в ходе прямо и обратно), но и здесь обычно соблюдают лишь полевые допуски.

Вычисления начинают с проверок журналов. Поправку за среднюю длину метра реек вводят в превышение по секциям в журналах на страницах подсчета итогов по секции. Вычисляют исправленное превышение.

Когда работа с журналом закончена, составляют ведомость превышений и предварительных высот. В ведомость выписываются превышения исправленные за длину метра пары реек. Над средними превышениями выписывают поправки из уравнивания.

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Что входит в состав предварительной обработки нивелирных измерений?

- 2) Что такое проверка журнала?
- 3) Задача уравнильных вычислений при обработке нивелирных сетей?
- 4) Как составляется схема нивелирной сети?
- 5) Что представляет собой ведомость превышений?

**Лекция №114. Основные источники ошибок в нивелировании III и IV классов, меры по ослаблению их влияния.**

Основными ошибками нивелирования III и IV классов являются:

1. Несоблюдение главного условия (остаточная величина угла) является следствием непостоянства температурных условий, в которых выполняется нивелирование, и ряда других факторов. Изменение угла при изменении температуры на 1 не должно превышать 1.5 .

2. Оседание прибора требует наблюдений симметричной во времени программы наблюдений на станции.

3. Ошибки в превышениях конечных точек хода за оседание костылей (башмаков) можно ослабить двойным нивелированием (в прямом и обратном направлениях).

4. Ошибки за наклон реек существенно ослабляются при установке на рейках круглого уровня и его ежедневных проверок.

5. Ошибки за кривизну Земли исключаются методом нивелирования из середины, при этом влияние рефракции существенно ослабляется. Для большего ослабления рефракции луч не должен проходить ближе чем 0.3 (0.2) м от поверхности земли.

6. Ошибки за длину одного метра пары реек ослабляются введением поправок по результатам компарирования реек.

7. Ослабить влияние одностороннего нагрева нивелира и штатива можно применением зонта при наблюдениях, чехла при переходах и работы по теневым сторонам, а также чередованием начала наблюдений на нечетной станции – с задней, на четной – с передней рейки. При двойном нивелировании рекомендуется прямой ход прокладывать до полудня, обратный после полудня.

Соблюдение перечисленных мер и предосторожностей существенно ослабит влияние систематических ошибок.

Среднюю квадратическую ошибку взгляда или среднего превышения вычисляют по эмпирическим формулам А.С. Чеботарева

$$m_{взг.} = \sqrt{(0.04t + 0.16 \frac{S}{\Gamma})^2 + (\frac{0.09\tau}{\rho} S)^2},$$

при  $t = 10$  мм,  $S = 75$  и  $100$  м,  $\tau = 15''$  и  $25''$ ,  $\Gamma = 30$  и  $25$  имеем соответственно  $1.0$  мм (III) и  $1.5$  мм (IV класс).

Полевые вычисления их контроль

**Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

**Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

**Контрольные вопросы:**

- 1) Назовите основные источники ошибок при нивелировании, обусловленные влиянием внешней среды.
- 2) Назовите основные инструментальные погрешности нивелирования.
- 3) Назовите личностные ошибки, влияющие на точность нивелирования.
- 4) Перечислите меры, ослабляющие влияние систематических ошибок нивелирования.

### **Лекция №115. Цифровые нивелиры. Технология нивелирования цифровыми нивелирами**

В последние годы при нивелировании различных классов начали применяться цифровые (электронные) нивелиры со штрих-кодowymi рейками. В связи с этим кардинально меняется технология нивелирных работ, начиная с проектирования и заканчивая математической обработкой результатов измерений с оценкой точности. В практику геодезических работ начали широко внедряться электронные тахеометры, которые по техническим характеристикам пригодны для выполнения государственного нивелирования. Спутниковые технологии также позволяют обеспечить точность измерений на уровне требований отдельных классов государственного нивелирования.

Уставичем Г.А., Шаульским В.Ф и Винокуровым О. И (Россия) рекомендована следующая технология нивелирования., при которой учтено, что:

1. Средняя квадратическая погрешность нивелирования на 1 км двойного хода современными цифровыми нивелирами составляет 0.2-0.5 мм, что соответствует точности нивелирования I класса.

2. Электронные тахеометры (в зависимости от конструкции) позволяют измерять вертикальные углы с точностью от 2.0-6.0°, расстояние 1.0-1.5 км – с точностью 2-5 мм.

3. Если при работе цифровыми нивелирами применяются односторонние штрих-кодowe рейки, то возникает ситуация, когда превышение измеряется несколько раз с использованием одних и тех же штрихов. С точки зрения существующей методологии нивелирования это недопустимо, так как равносильно двух- или трехкратному наведению на одни и те же оптическим микрометром. Электронный способ взятия отсчета по рейке не содержит субъективных ошибок, которые имеют место у наблюдателя.

4. С применением цифровых нивелиров время, затрачиваемое на измерение и вычисление превышения на станции, уменьшается на 20-30% по сравнению с применением нивелиров с компенсаторами, что отразится на разностях превышений прямого и обратного ходов. Такое изменение пространственно-временной составляющей дает возможность внести изменения в программу наблюдений на станции для некоторых классов нивелирования.

5. В современных нивелирах с компенсаторами изменение угла  $i$  в два-три раза медленнее по сравнению с урoвеньными, даже термостатированными. Ход фокусирующей линзы в современных высокоточных нивелирах также практически не оказывает влияния на точность измерения превышений. В связи с этим имеются все основания для увеличения допуска на величину разности плеч на станции с сохранением их величины накопления в секции.

6. С применением цифровых нивелиров запись и обработка результатов измерений на станции проводится с помощью микропроцессоров.

При проектировании линий нивелирования нивелирных ходов необходимо, по возможности, избегать критических для работы цифрового нивелира ситуаций: залесенной местности и автомобильных дорог с интенсивным движением транспорта.

При нивелировании сохраняется технологическая схема проложения нивелирного хода.

#### **Основная литература**

1) Геодезия и картография № 7,8 Разработка и совершенствование технологии государственного нивелирования, Уставич Г.А. и др.

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

5) Геодезия и картография № 7,8 Разработка и совершенствование технологии государственного нивелирования, Уставич Г.А. и др.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

1) Что подразумевается под критическими для работы цифрового нивелира ситуациями?

2) Как проводится запись и обработка результатов измерений при работе с цифровым нивелиром?

3) На сколько процентов уменьшается время работы с цифровым нивелиром по сравнению с оптическим?

4) Какие рейки применяются при работе с электронными нивелирами?

5) Что такое штрих-кодowая рейка?

## Тема 20. Уравнивание нивелирных сетей и ходов

### Лекция № 116. Уравнивание нивелирной сети с одной узловой точкой.

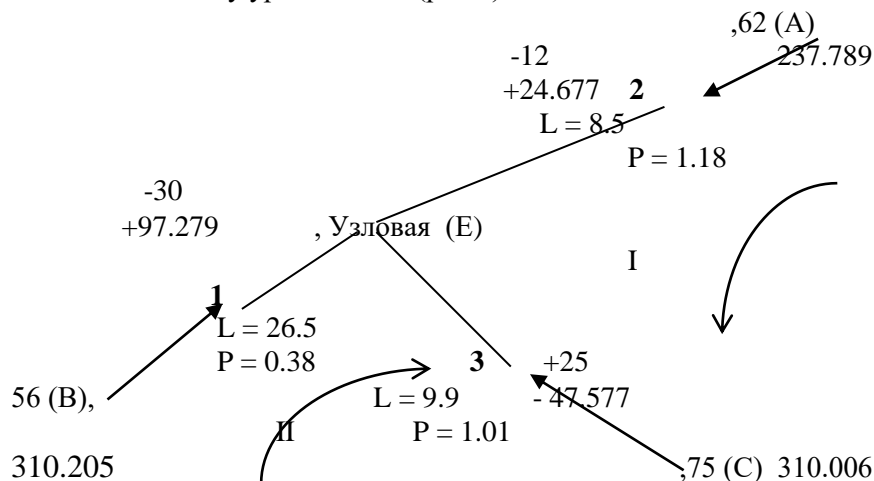
Уравнивание системы нивелирных линий с одной узловой точкой производят в следующем порядке.

1. До уравнивания осуществляется контроль результатов полевых измерений по принятым полигонам I и II

$$f_{h_I} = [h]_1 - [h]_2 - (H_C - H_A) \leq 10 \text{ мм} \sqrt{L_1 + L_2};$$

$$f_{h_{II}} = [h]_3 - [h]_4 - (H_C - H_B) \leq 10 \text{ мм} \sqrt{L_1 + L_3}$$

Составляют схему уравнивания (рис. )



1. Вычисляют частные значения высоты узловой точки.

$$H_E^i = H_A + \Sigma h_{AE},$$

$$H_E^i = H_i + \Sigma h_{iE},$$

где  $H_A, H_B, H_C$  – исходные высоты; 1, 2 ... i - номера ходов;  $\Sigma h_{AE}, \Sigma h_{BE} \dots$  - суммарные превышения между соответствующими исходными пунктами и определяемой точкой.

2. Вычисляют веса P каждой линии

При уравнивании системы линий одного класса их веса определяют по формуле

$$P = \frac{c}{n},$$

где c – постоянный коэффициент, который берут кратным 10 и с таким расчетом, чтобы вес линии, как правило находился в пределах от 1 до 10; n – число штативов в данной линии.

Если число штативов на 1 км хода примерно одинаково для всех линий или почему-либо не известно, то веса линий определяют по формуле

$$P = \frac{c}{L},$$

где L – длина линии (в километрах).

c- постоянная величина, принимаемая равной среднему значению максимальной и минимальной длин ходов

$$c = \frac{L_{\min} + L_{\max}}{2}$$

или

$$c = L_1 + L_2 + \dots + L_n / n,$$

где n – число уравниваемых ходов.

4. Определяют вероятнейшее значение высоты узловой точки по одной из формул

$$H_E = \frac{P_1 H_E' + P_2 H_E'' + \dots + P_i H_E^i}{P_1 + P_2 + \dots + P_i}$$

или

$$H_E = H_E^o + \left| \frac{P_\varepsilon}{P} \right|$$

где  $H_E^o$  - приближенное значение высоты определяемой точки;

$\varepsilon$  - остатки, вычисляемые как

$$\varepsilon_1 = H_E' - H_E^o,$$

$$\varepsilon_2 = H_E'' - H_E^o,$$

.....

$$\varepsilon_i = H_E^i - H_E^o.$$

3. Вычисляют поправки  $v$  из уравнивания в превышения каждого хода

$$V_1 = H_E - H_E',$$

$$V_2 = H_E - H_E'',$$

.....

$$V_i = H_E - H_E^i.$$

Значения поправок выписывают на схему над соответствующими превышениями.

6. Производят оценку точности.

Вычисляют среднюю квадратическую ошибку единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{[PV^2]}{z-1}},$$

где  $z$  - число ходов в системе.

Вычисляют среднюю квадратическую ошибку нивелирования на 1 км хода

$$m = \pm \frac{\mu}{\sqrt{c}}$$

при

$$P = \frac{c}{L}$$

или

$$m = \pm \frac{\mu}{\sqrt{c}} \sqrt{\frac{[n]}{[L]}} \text{ при}$$

$$P = \frac{c}{n}$$

где  $[n]$  - общее число штативов в уравниваемой системе;  $[L]$  - общая длина (в километрах) уравниваемых линий.

Средняя квадратическая ошибка определения превышения узловой точки

$$m_{h_E} = \pm \sqrt{\frac{c}{P_E}},$$

где  $\mu$  - средняя квадратическая ошибка единицы веса;  $PE$  - вес узловой точки, равный сумме весов сходящихся в ней линий;  $c$  - коэффициент, используемый при вычислении весов уравниваемых линий.

В результате уравнивания нивелирной сети с одной узловой точкой требуется найти:

- уравненное значение отметки узловой точки;

- оценить точность результатов полевых измерений:
- уравнивать отдельные ходы.

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Назовите формулу средней квадратической ошибки определения превышения узловой точки.
- 2) Что такое  $\mu$  ?
- 3) По какой формуле вычисляют среднюю квадратическую ошибку нивелирования на 1 км хода?
- 4) По какой формуле определяют веса линии?

### **Лекция № 117. Уравнивание нивелирной сети способом В.В. Попова**

При уравнивании систем нивелирных линий объем вычислительных работ может быть значительно уменьшен благодаря применению правил, предложенных профессором В.В. Поповым.

Порядок действий при уравнивании нивелирной сети с учетом предложений В.В. Попова следующий:

- составляют схему уравнивания;
- по схеме сети составляют нормальные уравнения и решают их;
- по схеме сети составляют уравнения поправок; производят вычисления поправок в превышения и оценку точности;
- вычисляют вероятнейшие значения высот узловых точек;
- уравнивают отдельные линии и вычисляют высоты промежуточных знаков.

Правила В.В. Попова:

1. Каждому полигону приписывается своя коррелата, номер которой соответствует номеру полигона.
2. В нормальное уравнение данного полигона входит столько коррелат, со сколькими полигонами он имеет общие ходы.
3. Квадратичный коэффициент нормального уравнения данного полигона равен сумме обратных весов входящих в него ходов.
4. Неквадратичные коэффициенты нормального уравнения входят с коррелатами полигонов, смежных данному.

Поправка в превышение по данному ходу равна его обратному весу, умноженному на алгебраическую сумму коррелат полигонов, для которых этот ход является общим.

#### **Основная литература**

- 1) Геодезия и картография № 7,8 Разработка и совершенствование технологии государственного нивелирования, Уставич Г.А. и др.
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.
- 5) Геодезия и картография № 7,8 Разработка и совершенствование технологии государственного нивелирования, Уставич Г.А. и др.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Перечислите правила Попова.
- 2) Порядок действий при уравнивании нивелирной сети по способу В.В. Попова.
- 3) Чему равен квадратичный коэффициент нормального уравнения данного полигона?
- 4) Чему равна поправка в превышение по данному ходу?
- 5) Что составляют по схеме сети?

### Лекция №118. Уравнивание нивелирной сети по способу последовательных приближений

Уравнивание системы нивелирных линий способом узлов (приближений) производят в следующем порядке:

- составляют схему уравнивания;
- уравнивают высоты узловых точек;
- выполняют оценку точности по результатам уравнивания;
- уравнивают отдельные линии и вычисляют высоты промежуточных знаков.

Уравнивание высот нивелирных линий одного класса по способу узлов на схеме заключается в следующем.

После выписки на схему всех исходных данных для удобства вычислений на каждой узловой точке вычисляют с точностью до 0.01 приведенные веса по формуле

$$P_i' = \frac{P_i}{[P]},$$

где  $[P]$  - сумма весов линий, сходящихся в данной точке;  $P_i$  - вес линии с номером  $i$ .

Приведенные веса выписывают на схему над или под линиями возле соответствующей узловой точки и обводят кружками. Правильность вычисления приведенных весов контролируют их суммированием  $[P_i] = 1.00$

Вычисляют высоты узловых точек по формулам весовой арифметической середины.

Средние весовые значения высот вычисляют в первую очередь для узловых точек, имеющих наибольшее число связей с исходными пунктами; при этом используют неприведенные веса.

В примере вычисление высот начато с узловой точки – репер 111. Высота ее от репера 132 равна  $169.112 + 23.194 = 192.306$ , а от марки 16  $183.634 + 8.664 = 192.298$ . Вес первого значения высоты равен 2.87, вес второго значения – 2.74. Среднее весовое значение высоты точки 111 в первом приближении вычисляют так:

$$H_{111} = H_{111}^0 + \frac{(H_{132} + \Sigma h_1 - H_{111}^0)P_1 + (H_{16} + \Sigma h_2 - H_{111}^0)P_2}{P_1}$$

$$= 192 + [(0.306 \times 2.87) + (0.298 \times 2.74)] / (2.87 + 2.74).$$

Значения высот последующих точек вычисляют с учетом полученных ранее смежных точек. Так, при вычислении высот репера 141 учитывают полученную в первом приближении высоту репера 111 и т.д.

Вычислив в первом приближении высоты узловых точек приступают к вычислению второго и последующих приближений.

Начиная со второго приближения, высоты вычисляют с учетом приведенных весов.

Например:

$$\begin{aligned} H_{111} &= H_{111}^0 + (H_{132} + \Sigma h_1 - H_{111}^0)P_1' + (H_{16} + \Sigma h_2 - H_{111}^0)P_2' + (H_{141}' + \Sigma h_3 - H_{111}^0)P_3' = \\ &= 192 + (0.306 \cdot 0.30) + (0.298 \cdot 0.29) + (0.302 \cdot 0.41) = 192/310 \end{aligned}$$

В каждом последующем приближении используют высоты смежных знаков, определенные в предыдущем приближении.

Вычисления продолжают до тех пор, пока высоты одних и тех же узловых точек, вычисленные до 0.001 не будут одинаковыми в двух последовательных приближениях.

Значения высот, полученные в последнем приближении считают окончательными (уравненными) высотами узловых точек.

По окончании уравнивания вычисляют поправки в превышения, как разности абсолютных значений уравненных и измеренных превышений

$$V = \Sigma h_{ур.} - \Sigma h_{изм.}, \text{ где } h_{ур.} \text{ равно разности окончательных высот.}$$



Вычисляют контроль правильности вычисления окончательных высот узловых точек и поправок в превышения

$$k = [P \cdot V] \leq 0.5 \text{ мм}$$

Оценка точности по результатам уравнивания состоит в вычислении средней квадратической ошибки единицы веса  $\mu$  и средней квадратической ошибки нивелирования на 1 км хода.

$$\mu = \sqrt{\frac{[PV^2]}{z - u}},$$

где  $P$  – веса линий;  $V$  – поправки в превышения;  $z$  – число уравниваемых линий;  $u$  – число узловых точек.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

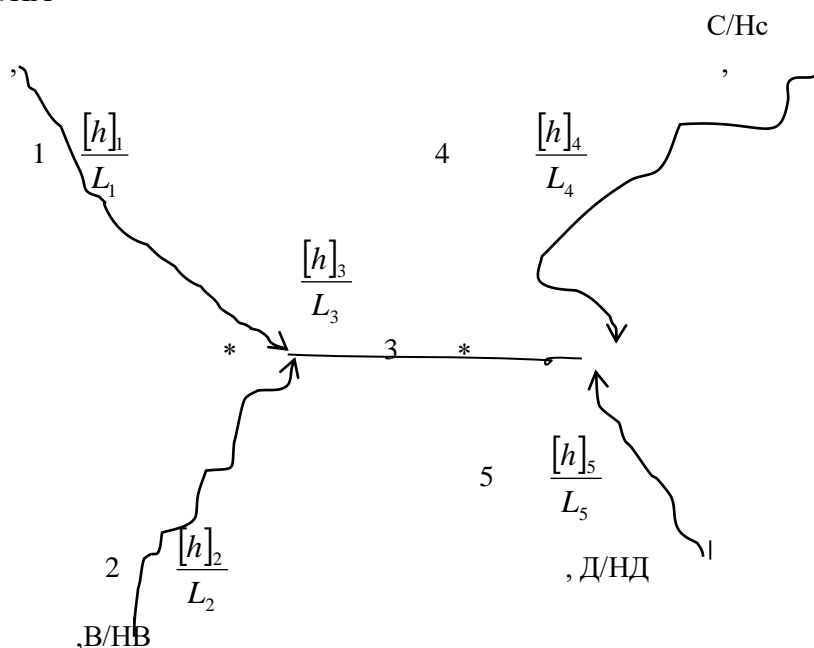
- 1) Укажите порядок уравнивания системы нивелирных линий способом приближений?
- 2) В чем состоит оценка точности нивелирной сети в данном способе уравнивания?
- 3) Как вычисляют поправки в превышения по окончании уравнивания?
- 4) По какой формуле вычисляются приведенные веса?
- 5) По какой формуле вычисляют среднее весовое значение высоты точки в первом приближении?

#### Лекция №119. Уравнивание нивелирной сети по способу эквивалентной замены

Сущность способа эквивалентной замены заключается в том, что два или более хода заменяются одним эквивалентным ходом. Например, ходы 1 и 2 – ходом 1, тогда уравненные значения отметок узловых точек можно получить по формулам среднего весового.

Для вычисления наиболее надежного значения отметок узловых реперов система ходов с несколькими узловыми реперами сводится к системе ходов с одной узловой точкой.

А/НА



$$H_{II} = \frac{H_{1,2+3}P_{1,2+3} + H_4P_4 + H_5P_5}{P_{1,2+3} + P_4 + P_5};$$

$$H_I = \frac{H_{4,5+3}P_{4,5+3} + H_1P_1 + H_2P_2}{P_{4,5+3} + P_1 + P_2}$$

где

$$H_{1,2+3} = H_{1,2} + [h]_3; \quad P_{1,2+3} = \frac{c}{L_{1,2} + L_3}; \quad L_{1,2} = \frac{c}{P_{1,2}};$$

$$P_{1,2} = P_1 + P_2 = \frac{c}{L_1} + \frac{c}{L_2}; \quad H_{1,2} = \frac{H_1P_1 + H_2P_2}{P_1 + P_2} = H_{1,2}^o + \frac{[P\varepsilon]}{[P]}.$$

$$H_1 = H_A + [h]_1; \quad H_2 = H_B + [h]_2; \quad H_4 = H_C + [h]_4; \quad H_5 = H_D + [h]_5$$

Уравненное значение отметки 1 узла вычисляют также по формуле

$$H_1 = H_{1,2} + v_{1,2}, \text{ где } v_{1,2} = \frac{v_{1,2+3}}{L_{1,2+3}}L_{1,2}; \quad v_{1,2+3} = H_{II} - H_{1,2+3}; \quad L_{1,2+3} = L_{1,2} + L_3.$$

Среднюю квадратическую ошибку 1 км хода вычисляют по формулам

$$\mu_C = \sqrt{\frac{[Pv^2]}{n-k}}; \quad m_{км} = \frac{\mu_C}{\sqrt{c}}. \text{ где } n=5, k=2. \text{ Поправки в ходы вычисляют по формулам:}$$

$$v_5 = H_{II} - H_5; \quad v_4 = H_{II} - H_4; \quad v_3 = \frac{v_{1,2+3}}{L_{1,2+3}}; \quad v_2 = H_1 - H_2; \quad v_1 = H_I - H_1$$

Оценка точности уравненных результатов выполняется по известным формулам

$$M_{H_{II}} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{II}}}; \quad P_{II} = P_{1,2+3} + P_4 + P_5; \quad P_4 = \frac{c}{L_4}; \quad P_5 = \frac{c}{L_5};$$

$$M_{H_I} = \frac{\mu}{\sqrt{P_I}}; \quad P_I = P_{4,5+3} + P_1 + P_2; \quad P_1 = \frac{c}{L_1}; \quad P_2 = \frac{c}{L_2}$$

Способ строгий и удобен для простых сетей. Для больших сетей способ становится громоздким. Веса уравненных отметок узлов можно вычислить в таблицах

PI			PII		
№ ходов	L	P	№ ходов	L	P
1	L1П	P1 = c/L1	4	L4П	P4 = c/L4
2	L2П	P2 = c/L2	5	L5П	P5 = c/L5
1,2+3	L1,2 = c/P1,2 ←L3	P1,2 = c/L1 + c/L2	4,5+3	L4,5 = c/P1,5 L3	P4,5 = P4 +P5
1,2+3	L1,2+3П	P1,2+3 = c/L1,2+3	4,5+3	L4,5+3П	P4,5+3 = c/L4,5+3
4	L4П	P4 = c/L4	1	L1П	P1 = c/L1
5	L5П	P5 = c/L5	2	L2П	P2 = c/L2
(1,2+3), 4,5		PII = P1,2+3 +P4 +P5	(4,5+3), 1,2		PI = P4,5+3 +P1 +P2

Топографические карты и планы, их назначение. Методы создания топографических карт и планов. Назначение и виды топографических съемок. Обоснование выбора масштабов и высот сечения рельефа топографических съемок. Назначение карт масштаба 1:5000, 1: 10 000. Проектирование геодезического и съемочного обоснования.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991

г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

- 1) Сущность способа эквивалентной замены.
- 2) По каким формулам выполняется оценка точности уравненных результатов?
- 3) По каким формулам вычисляют среднюю квадратическую ошибку 1 км хода?
- 4) По каким формулам выполняется оценка точности уравненных результатов?
- 5) Что такое  $\nu_{1,2}$ ?

## Тема 21. Барометрическое нивелирование

### Лекция №120. Сущность и формулы барометрического нивелирования. Приборы для барометрического нивелирования

Барометрическое нивелирование предназначается в основном для определения высот пунктов в труднодоступной местности, например, для целей геологии, геофизики, гравиметрии, где нет возможности или нецелесообразно применять геометрическое или тригонометрическое нивелирование.

Для определения разности ( $H_2 - H_1$ ) высот точек 1 и 2 земной поверхности методом барометрического нивелирования необходимо одновременно измерить атмосферное давление и температуру в этих точках.

Единицей давления  $P$  в системе СИ принят Паскаль (Па),  $1\text{Па}=1\text{Н}/1\text{м}^2$ ;  $100\text{Па}=1\text{гПа}$  (ГектоПаскаль);  $1\text{гПа}=1\text{мбар}=0,750062\text{мм рт.ст.}$ ;  $1\text{мм рт.ст.}=133\text{Па}=1,33\text{мбар}$ . Давление  $760\text{мм рт.ст.}$  равно  $1013,25\text{гПа}$  (мбар) и соответствует средней величине атмосферного давления на уровне моря в спокойном состоянии  $P_0$ .

В основу вывода формул барометрического нивелирования положено уравнение статики атмосферы

$$-dP = \delta g dH. \quad (1.250)$$

Бесконечно малому изменению толщи атмосферы  $dH$ , при данной ее плотности  $\delta$  и ускорении силы тяжести  $g$  соответствует бесконечно малое изменение атмосферного давления  $dP$ . Знак (-) показывает, что с увеличением высоты давление падает.

После подстановки в уравнение (1.250) значений ускорения силы тяжести и плотности воздуха, полученной из объединенного закона Бойля-Мариотта и Гей-Люссака для газообразных веществ, и интегрирования уравнения получают полную барометрическую формулу

$$h = H_2 - H_1 = \frac{P_0}{\delta_{0;45^\circ} g_{0;45^\circ} M} \cdot (1 + \alpha t_m) \cdot \left(1 + \gamma \frac{e_m}{P_m}\right) \cdot (1 + \beta \cos 2\varphi_m) \cdot \left(1 + \frac{2H_m}{R_m}\right) \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}$$

$18401$ ;  $P_0$  — среднее давление на уровне моря, равное  $101325 \text{ кг/с}^2$ ;  $\delta_{0;45^\circ}$  — плотность сухого воздуха на уровне моря и  $T_0 = 273 \text{ K}$  ( $t = 0^\circ \text{C}$ ), равная  $1,293 \text{ кг/м}^3$ ;  $g_{0;45^\circ}$  — ускорение силы тяжести на уровне моря, на широте  $\varphi = 45^\circ$ , равное  $9,8062 \text{ м/с}^2$ ;  $M = 0,4343$  — модуль десятичных логарифмов;  $\alpha$  — температурный коэффициент объемного расширения воздуха, равный  $1/273$ ;  $\gamma = 1 - d$ ;  $d$  — отношение упругости водяных паров к плотности сухого воздуха на уровне моря, равное  $0,622$ ;  $\beta$  — постоянный коэффициент, равный  $0,002642$ ;  $t_m$  — средняя температура;  $e_m$  — среднее давление водяных паров;  $P_m$  — среднее атмосферное давление;  $\varphi_m$  — средняя широта;  $R_m$  — средний радиус Земли;  $H_m$  — средняя высота над уровнем моря;  $P_1$  и  $P_2$  — атмосферные давления, измеренные в точках 1 и 2.

В полной барометрической формуле учитывалось

$$g = g_{0;45^\circ} \cdot \left(1 - \frac{2H_m}{R_m}\right) \cdot (1 - \beta \cos 2\varphi_m) \quad ; \quad (1.252)$$

$$\delta = \delta_{0;45^\circ} \frac{P_m}{P_m} \cdot \frac{1}{(1 + \alpha t_m) \left(1 + \gamma \frac{e_m}{P_m}\right)} \quad (1.253)$$

Влияние поправочных членов полной барометрической формулы на превышение не однозначно:  $\alpha t_m \approx 1/10$ ;  $\gamma e_m/P_m \approx 1/100$ ;  $\beta \cos 2\varphi_m \approx 1/500$ ;  $2H_m/R_m \approx 1/5000$ . Учитывая, что изменением ускорения силы тяжести с изменением  $H_m$  и  $\varphi_m$  по сравнению с ошибками собственно измерений ( $m_{AP}$  и  $m_t$ ) часто можно пренебречь, превышение в барометрическом нивелировании надежно определяют по сокращенной барометрической формуле

$$h = K'_o \cdot (1 + \alpha t_m) \cdot \left(1 + \gamma \frac{e_m}{P_m}\right) \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} \quad (1.254)$$

Формула (1.254) принята в СССР для вычисления превышений барометрическим методом, при  $K'_o = 18405$ ,  $\varphi_m = 60^\circ$ ,  $H_m = 500$  м. Широко применяют сокращенные барометрические формулы, где в постоянных учитываются средние значения влажности. Формула Певцова

$$h = K \cdot (1 + \alpha t_m) \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} \quad (1.255)$$

и формула Бабинне

$$h = N \cdot (1 + \alpha t_m) \cdot \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \quad (1.256)$$

где  $K = \frac{P_o}{\delta_{0;45^\circ} g M} = 18470$ ,  $N = \frac{P_o}{\delta_0 g} = 16000 = 2KM$

Для практического использования формул Певцова и Бабинне составлены таблицы.

1. Таблицы приближенных альтитуд.

Формулу Певцова представляют в виде

$$h = (1 + \alpha t_m) \cdot \left\{ K \lg \frac{P_0}{P_2} - K \lg \frac{P_0}{P_1} \right\},$$

где  $K \lg \frac{P_0}{P_2} = (H'_2)$  — приближенная альтитуда точки 2,

$K \lg \frac{P_0}{P_1} = (H'_1)$  — приближенная альтитуда точки 1.

Окончательный вид рабочей формулы Певцова

$$h = h' + h' \alpha t_m, \quad (1.257)$$

где  $h' = (H'_2) - (H'_1)$  — приближенное значение превышения, полученное по выбранным из таблиц приближенным альтитудам. Входными параметрами таблицы являются измеренные давления  $P_2$  и  $P_1$ . Поправочный член выбирается по  $h'$  и  $t_m$ .

2. Таблицы ступеней высот.

Формулу Бабинне представляют в виде

$$h = \Delta H (P_1 - P_2), \quad (1.258)$$

где  $\Delta H$  — барометрическая ступень,

$$\Delta H = KM \left(1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2}\right) \cdot \frac{2}{P_1 + P_2}; \quad (1.259)$$

$\Delta H$  выбирают из таблиц по  $t_m$  и  $P_m$ .

*Приборы для барометрического нивелирования*

В комплект приборов для барометрического нивелирования входят: барометры, термометры-Пращи и наручные часы. Влажность учитывают по данным ближайших метеостанции. Широты и высоты — по топографической карте. Давление измеряют барометрами: ртутными, пружинными, газовыми и гипсотермометрами.

Ртутные барометры могут применяться для измерения давления на постоянных станциях со средней квадратической ошибкой ( $m_{\Delta P}$ ) около 6 Па (0,06 мбар). В показания ртутного столба вводятся поправки за температуру прибора, за широту и высоту места и приборная поправка. Их диапазон работы от 570 до 1070 мбар.

Газовые (дифференциальные) барометры ( $m_{\Delta P} \cong 0,07$  мбар) имеют малый диапазон (~ 30 мбар), чувствительны к изменению температуры (до 3 мбар на 1 °С), хрупкие, громоздки при подготовке к работе, в настоящее время не применяются.

Гипсотермометры (термобарометры), основанные на точном измерении температуры кипения воды ( $P = 760 + (t - 100^\circ)/0,0375$ ), требуют шкалы термометра с ценой деления не более 0,05°С, чтобы получить  $m_{\Delta P} \cong 0,07$  мбар. При более точном измерении температуры прибор может обрести новую жизнь.

Пружинные барометры имеют широкое распространение в виде анероидов, микробарометров (с анероидными блоками и спиралями).

Анероиды МД-49-2 и МД-49-А ( $m_{\Delta P} = 0,2—0,3$  мбар) имеют диапазоны измеряемого давления, соответственно, 1050—800 и 1065—500 мбар. Для получения атмосферного давления в показания анероида вводят температурную, шкаловую и добавочную поправки. Прибор легкий, удобен в работе, но обеспечивает недостаточную точность измерения давления.

Микробарометры в настоящее время являются основными приборами барометрического нивелирования. В них использован принцип преобразования незначительных поступательных движений (прогиб анероидных коробок от 0,001 до 0,005 мм) во вращательные перемещения больших величин.

В микробарометре ОМБ-1 0,5 мм вызывает поворот стрелки на 3° при точности угловой фиксации 20" (1 мкм поступательного перемещения анероидного блока), что обеспечивает  $m_{\Delta P} = 0,04—0,08$  мбар в диапазоне 200 мбар.

В приборах МБНП, МБ-63 цилиндрическая пружина с зеркалом поворачивается на 50°. 1 мкм прогиба анероидного блока соответствует развороту стрелки на 8'. Чувствительность этих приборов значительно выше чем ОМБ-1 ( $m_{\Delta P} = 0,03$  мбар). Диапазон работы—100 мбар, с перестановкой — 400 мбар.

Микробарометры фирмы «Аскания» б. ФРГ со спиралью Бурдона (пустотелая трубка с эллиптическим сечением из берилиевой бронзы) при диапазоне работы 800 мбар обеспечивают  $m_{\Delta P} = 0,01$  мбар. В США прибор со спиралью из кварца также обеспечивает  $m_{\Delta P} = 0,01$  мбар.

В СССР изготовлены микробаронивелиры с регистрацией результатов измерений на цифровом табло и приборы с пьезорезонансным датчиком, цифровым табло и возможностью записи результатов на магнитную ленту.

Температура воздуха в барометрическом нивелировании измеряется термометром «Пращ» или психрометром до 0,1 °С. Время фиксируется до 1" по сверенным наручным часам.

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Сущность барометрического нивелирования
- 2) Формулы барометрического нивелирования
- 3) Приборы для барометрического нивелирования
- 4) Какие приборы изготовлены в СССР?
- 5) Формулы Певцова и Бабине

### Лекция № 121. Способы барометрического нивелирования

1. Ходы с опорой на временную барометрическую станцию. Возможны два случая: а) станцию выбирают в центре площади участка, подлежащего съемке, лучше на репере. От нее прокладывают замкнутые ходы. Для определения высот точек ходов с точностью  $m_H = 0,5$  м наблюдения на станции ведут через 10—15 мин, удаление точек ходов допускают на 3—4 км. При  $m_H = 1,0$  м, соответственно, наблюдают на станции через 20-30 мин, а точки могут быть удалены на 6-8 км; б) станцию выбирают в середине разомкнутого хода.

2. Способ передвижной станции. Применяется при проложении протяженных ходов (до 30 км). Комплекты приборов сравнивают на начальной точке хода. В качестве временной станции поочередно являются первый и второй наблюдатели. Другой наблюдатель движется по точкам хода, т. е. прокладывается двойной ход в одном направлении.

3. Способ срочных отсчетов. На обширных площадях с большой разностью высот (в горах), где располагаются несколько метеостанций, организуют временные барометрические станции. На метеостанциях ведут наблюдения в 3, 9, 15, 21 час. На определяемых точках давление измеряют в часы срочных отсчетов (по договоренности, например, через 2 часа). Превышение до искомых точек определяют относительно 3—4 временных станций, установленных на реперах.

Для дальнейшего повышения точности определения высот методом барометрического нивелирования (до 0,2—0,3 м) необходимо: повысить точность определения средней интегральной температуры между точками до 0,5—0,3 °С; уменьшить инструментальную ошибку определения разности давлений в двух точках до 0,015 мб; организовать на временных барометрических станциях непрерывные наблюдения за изменением давления и температуры; не допускать  $m_e \geq 0,7 \pm 1,0$  мбар; прокладывать ходы с удаленными точками от станции не более 2-3 км и превышениями не более 200 м в благоприятных условиях барического поля.

#### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

1) Способы барометрического нивелирования

2) Расскажите о ходах с опорой на временную барометрическую станцию

3) Расскажите о способе передвижной станции.

4) Расскажите о способе срочных отсчетов.

### Лекция №122. Основные источники ошибок и точность барометрического нивелирования

Условно рассматривают три группы источников ошибок в барометрическом нивелировании.

1. Ошибки, обусловленные приближенным характером формул. Все барометрические формулы (в том числе и полная) приближенные, так как при их выводе допускали: неподвижность воздушных слоев, неизменность среднего давления на уровне моря, линейное изменение температуры воздуха с высотой, однородность химического состава воздуха и подчинение воздуха законам идеального газа. В реальной атмосфере ни одно из перечисленных условий не соблюдается, т.е. постоянные  $K_0$ ,  $K$  и  $N$  — не постоянны. Если влажность учитывают с погрешностью  $m_e = 1$  мм рт.ст., то ошибка в коэффициентах достигает 6 единиц (1/2000).

2. Ошибки приборов и личные.

Воспользуемся формулой Бабиня в виде

$$h = \frac{N}{2} \cdot (1 + \alpha_{cp}) \cdot \frac{\Delta p}{P_{cp}}, \quad (1.260)$$

где

$$\Delta P = P_1 - P_2, \quad P_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

Принимая  $t_{cp}$ ,  $\Delta P$  и  $P_{cp}$  как независимо изменяемые величины, после логарифмирования, дифференцирования и перехода к средним квадратическим ошибкам получим:

$$m_h^2 = (h\alpha m_t)^2 + \left(\frac{hm_{\Delta P}}{\Delta P}\right)^2 + \left(\frac{hm_{P_{cp}}}{P_{cp}}\right)^2, \quad (1.261)$$

где  $1 + \alpha t_{cp} \approx 1$ , так как  $\alpha t_{cp}$  в 10 раз меньше 1.

Пример. При  $h = 115$  м (всхолмленная местность),  $\Delta p = 13$  мбар,  $t_t = 1^\circ\text{C}$ ,  $m_{\Delta P} = 0,05$  мбар,  $m_{P_{cp}} = 1$  мбар,  $P_{cp} = 1000$  мбар, (микробарометр) имеем:  $m_h^2 = (0,42)^2 + (0,44)^2 + (0,12)^2$  или  $m_h = 0,62$  м. Для aneroidов —  $m_h = 1,5$  м.

3. Ошибки, вызванные неравновесием атмосферы.

Идеального состояния атмосферы нет. Атмосферное давление изменяется во времени и в пространстве. Главная причина изменения давления солнечная радиация, неравномерный нагрев земной поверхности Солнцем. Изменение давления в одной и той же точке за 3 часа называют барометрической тенденцией. Нормальная величина барометрической тенденции составляет 0,1—0,3 мбар за 3 часа, но может достигать 1—3 мбар. Для уменьшения влияния барометрической тенденции на результаты барометрического нивелирования целесообразно наблюдать давления в двух точках, превышение между которыми определяют, производить одновременно или организовать наблюдение за изменением давления во времени, а затем вводить поправки за время.

Изменение давления в пространстве (на  $1^\circ$  дуги по меридиану, т.е. на 111 км) называется барическим градиентом. Барический градиент (наклон изобарических поверхностей относительно уровня) считается нормальным, если его величина составляет 0,01—0,03 мбар на 1 км. Влияние барического градиента на определяемое превышение можно уменьшить, если ограничивать до 15 км длины ходов, прокладывая ходы между пунктами с известными высотами, перпендикулярно изобарам и в период спокойного барического поля (пасмурные дни, период антициклона). Используя синоптические карты, можно вводить поправки в измеренную разность давлений в двух точках местности.

Непостоянство температурного градиента (особенно по вертикали) также вносит ошибки в измеряемые давления. Лучшая мера борьбы с этим источником ошибок — точное интегральное знание температуры между точками, в которых производят измерения. Уменьшение влияния ошибок достигают: измерением температуры воздуха в определяемых точках на высоте не ближе 2 м от поверхности земли, ограничением превышений до 250 м, наблюдениями в утренние и вечерние часы, когда изменения температуры почти нет.

Для борьбы с перечисленными источниками ошибок предложены различные методы баронивелирования.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. — Алматы: КазНТУ, 2002 г. — 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. — М.: Высшая школа, 2000 г. — 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. — М.: Недра, 1991 г. — 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. — М.: Недра, 1980 г. — 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. — М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. — М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. — М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы:

- 1) Какие виды основных источников ошибок барометрического нивелирования вы знаете?
- 2) Расскажите о точности барометрического нивелирования
- 3) Что называется барическим градиентом?
- 4) Расскажите о ошибках приборов и личные.
- 5) Расскажите о ошибках, вызванные неравновесием атмосферы.