МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Восточно-Казахстанский Государственный

Технический университет им. Д. Серикбаева

Горно-металлургический факультет

Кафедра Геодезии, землеустройства и кадастра

**ОТЧЕТ**

Тема: «Проект создания плановых инженерно-геодезических сетей»

Усть-Каменогорск

2009

**ВВЕДЕНИЕ**

Цель отчета – освоить методы проектирования инженерно-геодезических сетей для производства топографических съемок и решения различных задач городского кадастра.

В практике инженерно-геодезических измерений, в некоторых случаях, возникает необходимость измерения некоторых параметров геодезической сети. Например, следует повысить точность измерения углов и увеличить длину линий в проектируемом ходе, чтобы сохранить требования инструкции. Выполнение работы требует знания всех вопросов программы по инженерной геодезии, основам высшей геодезии и теории математической обработки геодезических измерений.

Государственная геодезическая сеть является основой для развития геодезических сетей сгущения и съемочного обоснования; выполнения топографических съемок, производства инженерно – геодезических работ. Она позволяет вычислять координаты пунктов в единой системе, предоставляет фактические данные для решения научных задач геодезии: определение формы и размеров Земли, изучение деформации земной коры, вывод разностей высот морей и океанов и др.

Необходимым условием проектирования и исполнения геодезических работ является:

- обеспечение надежного контроля геодезических измерений;

- возможность оценки точности фактически выполненных измерений и установления соответствия точности полученных результатов измерений заданным требованиям.

Целью данного отчета является освоение методов проектирования инженерно геодезических сетей используемых для проведения топографо-геодезических работ.

В данном проекте необходимо разработать проект сгущения инженерно-геодезической сети методом триангуляции, полигонометрии, выполнить предрасчет точности проекта сети триангуляции, выполнить предрасчет точности проекта сети полигонометрии, определить наличие видимости между пунктами триангуляции. Для изучения местности, на которой проектируется инженерно-геодезические сети составить физико-географическое описание местности.

**1. Общие сведения об инженерно-геодезических сетях**

Для составления карт и планов, решения геодезических задач, в том числе геодезического обеспечения строительства, на поверхности Земли располагают ряд точек, связанных между собой единой системой координат. Эти точки маркируют на поверхности Земли или в зданиях и сооружениях центрами (знаками). Совокупность закрепляемых на местности или зданиях точек (пунктов), положение которых определено в единой системе координат, называют геодезическими сетями.

Для определения координат пунктов сети между ними измеряют расстояния и углы. Отрезки линий, ограниченные геодезическими пунктами, вдоль которых измерялась длина или направление, называют сторонами сети.

Каждый следующий пункт геодезической сети, начиная со второго, должен быть связан с предшествующими пунктами не менее чем двумя измеренными элементами (угол, длина стороны, дирекционный угол).

Геодезическую сеть создают таким образом, чтобы ее стороны образовывали простые геометрические фигуры, удобные для решения, т.е. определения плановых геодезических сетей.

Геодезические сети подразделяют на плановые и высотные: первые служат для определения координат Х и У геодезических центров, вторые – для определения их высот Н.

Геодезические сети делятся на:

глобальные, покрывающие поверхность всей Земли;

национальные (государственные), создаваемые на территории данной страны;

сети сгущения, геодезическое съемочное обоснование (для топографических съемок);

специальные (местные) геодезические сети.

При построении геодезических сетей соблюдается принцип перехода от общего к частному и систематический контроль всех видов работ.

Глобальная геодезическая сеть создается методами космической геодезии по материалам наблюдений искусственных спутников Земли (ИСЗ). Положение пунктов определяется в геоцентрической системе прямоугольных координат с началом в центре масс Земли, ось Z совпадает с осью вращения Земли, плоскость XZ - с плоскостью начального меридиана, ось 0Y дополняет систему до правой. Глобальную геодезическую сеть используют для решения научных и научно-технических задач геодезии, геофизики, астрономии и других наук. Например, для уточнения фундаментальных геодезических постоянных, изучения фигуры и гравитационного поля Земли, определения перемещения и деформации литосферных плит земной коры и т.п. Глобальная геодезическая сеть должна непрерывно совершенствоваться путем повышения точности определения координат ее пунктов, что необходимо для более эффективного решения традиционных и новых научных проблем геодезии и других наук.

Государственная геодезическая сеть является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов и должна удовлетворять требованиям народного хозяйства и обороны страны при решении соответствующих научных и инженерно-технических задач. Плановая сеть создается методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации и их сочетаниями; высотная сеть создается построением нивелирных ходов и сетей геометрического нивелирования. Государственная геодезическая сеть подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4 классов, различающиеся точностью измерений углов, расстояний и превышений, длиной сторон сети и порядком последовательного развития.

Государственная геодезическая сеть 1 класса, называемая еще астрономо-геодезической сетью (АГС), строится в виде полигонов периметром около 800 - 1000 км, образуемых триангуляционными или полигонометрическими звеньями длиной не более 200 км и располагаемыми по возможности вдоль меридианов и параллелей.

Государственная геодезическая сеть 2-го класса строится в виде триангуляционных сетей, сплошь покрывающих треугольниками полигоны, образованные звеньями триангуляции или полигонометрии.

Внутри полигонов 1 класса на нескольких пунктах 2 класса производятся астрономические определения широты, долготы и азимута.

Пункты сетей 3 и 4 классов, определяемые методом триангуляции, строятся в виде отдельных систем треугольников, опирающихся на стороны сети высшего класса.

На всех пунктах государственной триангуляции или полигонометрии предусматривается установка двух ориентирных пунктов на расстоянии 500-1000 м от основного пункта и видимых с земли. Между основными сторонами сети и направлениями на ориентирные пункты измеряются углы со средней квадратической погрешностью ±2,5``. Ориентирные пункты предназначаются для азимутальных привязок геодезических сетей низших разрядов.

Плотность геодезических пунктов как опорной сети для топографических съемок установлена:

- для съемок в масштабах 1:25000 и 1:10000- 1 пункт на 50-60 км2;

- для съемок в масштабах 1:5000- 1 пункт на 20-30 км2;

- для съемок в масштабах 1:2000 и крупнее- 1 пункт на 5-15 км2.

Состав работ по развитию геодезической сети на каждом участке заключается в следующем:

- составление проекта геодезической сети по имеющимся картам наиболее крупного масштаба;

- рекогносцировка, заключающаяся в уточнении проекта на местности - в отношении расположения пунктов, высот знаков, проверки целесообразности намеченной в проекте методике и т. д.;

- постройка геодезических знаков и закладка центров;

- производство геодезических измерений - угловых, линейных, астрономических, гравиметрических;

- математическая обработка результатов измерений, в результате которой вычисляются координаты геодезических пунктов, сводимые далее в каталоги. Последовательность обработки – от высшего к низшему.

При проектировании геодезической сети, методов её развития и использования должны выбираться варианты, наиболее выгодные в экономическом отношении в данных физико-географических условиях.

Геодезические сети сгущения, служащие для дальнейшего увеличения плотности геодезической сети, подразделяются на:

- сети 1 и 2 разряда, развиваемые методом триангуляции,

- триангуляционные сети сгущения;

- сети 1 и 2 разряда, развиваемые методом полигонометрии;

- сети технического нивелирования, развиваемые методом геометрического нивелирования.

Сети сгущения прокладываются, как правило, между сторонами и пунктами государственной геодезической сети.

Постоянные знаки закрепляются подземными знаками – центрами. Конструкции центров обеспечивают их сохранность и неизменность положения в течении длительного периода времени. Как правило, подземный центр представляет собой бетонный монолит, закладываемый ниже глубины промерзания грунта и не в насыпной массив. У поверхности земли в монолите устанавливают чугунную марку, на которой наносят центр в виде креста или точки. Положение этого центра соответствуют координаты Х и У и во многих случаях отметки Н.

Для того, чтобы с одного знака был виден другой (смежный), над подземными центрами устанавливают наружный знак в виде металлических или деревянных трех- или четырехгранных пирамид или сигналов.

Как правило, пункты разбивочных сетей и сетей сгущения закрепляют подземными центрами, такими же, как и пункты государственных сетей. Так как расстояние между этими пунктами сравнительно небольшие, оформления их наружными знаками не требуется. Иногда над ними устанавливают Г – образные металлические или деревянные вехи. В городах знаки оформляют в виде специальной надстройки на крышах зданий или внутри самих зданий (стенные).

Специальные (местные) геодезические сети создают в тех случаях, когда для решения поставленных задач на данном участке нужно иметь пункты, взаимное расположение которых в плане и по высоте определено с наивысшей точностью. Систему координат в таких сетях обычно подбирают так, чтобы редукционные поправки за переход от измеренных величин к их проекциям на местную поверхность относимости были минимальными. Такие сети строят, например, в сейсмоактивных регионах для прогнозирования землетрясений, при строительстве крупных сооружений и т. п.

* 1. **Триангуляция**

Триангуляция (от лат. triangulum – треугольник) – один из методов создания опорной геодезической сети (рисунок 1).

Рисунок 1 – Триангуляция и трилатерации

Состоит в построении рядов или сетей примыкающих друг к другу треугольников и в определении положения их вершин в избранной системе координат. В каждом треугольнике измеряют все три угла, а одну из его сторон определяют из вычислений путём последовательного решения предыдущих треугольников, начиная от того из них, в котором одна из его сторон получена из измерений. Если сторона треугольника получена из непосредственных измерений, то она называется базисной стороной триангуляции. В рядах или сетях триангуляции для контроля и повышения их точности измеряют большее число базисов или базисных сторон, чем это минимально необходимо.

Принято считать, что метод триангуляции изобрёл и впервые применил В. Снеллиус в 1615–17 гг. при прокладке ряда треугольников в Нидерландах для градусных измерений. Работы по применению метода триангуляции для топографических съёмок в дореволюционной России начались на рубеже 18–19 вв. К началу 20 в. метод триангуляции получил повсеместное распространение.

Триангуляция имеет большое научное и практическое значение. Она служит для: определения фигуры и размеров Земли методом градусных измерений; изучения горизонтальных движений земной коры; обоснования топографических съёмок в различных масштабах и целях; обоснования различных геодезических работ при изыскании, проектировании и строительстве крупных инженерных сооружений, при планировке и строительстве городов и т.д.

При построении триангуляции в государственной геодезической сети (ГГС) исходят из принципа перехода от общего к частному, от крупных треугольников к более мелким. В связи с этим триангуляция подразделяется на классы, отличающиеся точностью измерений и последовательностью их построения. В малых по территории странах триангуляция высшего класса строят в виде сплошных сетей треугольников. В государствах с большой территорией (Россия, Китай, Индия, США, Канада и др.) триангуляцию строят по некоторой схеме и программе.

Рисунок 2 - Государственная триангуляция делится на 4 класса

Государственная триангуляция 1-го класса строится в виде рядов треугольников со сторонами 20–25 км, расположенных примерно вдоль меридианов и параллелей и образующих полигоны с периметром 800–1000 км. Углы треугольников в этих рядах измеряют высокоточными теодолитами, с погрешностью не более ± 0,7". В местах пересечения рядов триангуляции 1-го класса измеряют базисы при помощи мерных проволок, причём погрешность измерения базиса не превышает 1 : 1000000 доли его длины, а выходные стороны базисных сетей определяются с погрешностью около 1 : 300 000. После изобретения высокоточных электрооптических дальномеров стали измерять непосредственно базисные стороны с погрешностью не более 1:400 000.

Пространства внутри полигонов триангуляции 1-го класса покрывают сплошными сетями треугольников 2-го класса со сторонами около 10–20 км, причём углы в них измеряют с той же точностью, как и в 1-ом классе. В сплошной сети триангуляции 2-го класса внутри полигона 1-го класса измеряется также базисная сторона с указанной выше точностью. На концах каждой базисной стороны 1-го и 2-го классов выполняют астрономические определения широты и долготы с погрешностью не более ±0,4", а также азимута с погрешностью около ±0,5". Кроме того, астрономические определения широты и долготы выполняют и на промежуточных пунктах рядов триангуляции 1-го класса через каждые примерно 100 км, а по некоторым особо выделенным рядам и значительно чаще.

На основе рядов и сетей триангуляции 1-го и 2-го классов определяют пункты триангуляции 3-го и 4-го классов, причём их густота зависит от масштаба топографической съёмки. Например, при масштабе съёмки 1:5000 один пункт триангуляции должен приходиться на каждые 20–30 км2. В сетях триангуляции 3-го и 4-го классов погрешности измерения углов не превышают соответственно 1,5" и 2,0".

В практике допускается вместо триангуляции применять метод полигонометрии. При этом ставится условие, чтобы при построении опорной геодезической сети тем и др. методом достигалась одинаковая точность определения положения пунктов земной поверхности.

Вершины треугольников триангуляции. обозначаются на местности деревянными или металлическими вышками высотой от 6 до 55 м в зависимости от условий местности (см. Сигнал геодезический). Пункты триангуляции в целях долговременной их сохранности на местности закрепляются закладкой в грунт особых устройств в виде металлических труб или бетонных монолитов с вделанными в них металлическими марками (см. Центр геодезический), фиксирующими положение точек, для которых даются координаты в соответствующих каталогах.

Координаты пунктов триангуляции определяют из математической обработки рядов или сетей. Построение триангуляции и её математическая обработка приводят к созданию на всей территории страны единой системы координат, позволяющей ставить топографо-геодезические работы в разных частях страны одновременно и независимо друг от друга. При этом обеспечивается соединение этих работ в одно целое и создание единой общегосударственной топографической карты страны в установленном масштабе (таблица 1).

Таблица 1 – Основные характеристики триангуляции

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | 1 класс | 2 класс | 3 класс | 4 класс |
| Длина звена триангуляции | 200 | - | - | - |
| Средняя длина стороны треугольника,км | 20-25 | 7-20 | 5-8 | 2-5 |
| Относительная ошибка выходной стороны | 1:400000 | 1:300000 | 1:200000 | 1:200000 |
| Приблизительная относительная ошибка стороны в слабом месте | 1:350000 | 1:200000 | 1:20000 | 1:70000 |
| Минимальное значение угла треугольника | 40˚ | 20˚ | 20˚ | 20˚ |
| Средняя квадратическая ошибка угла | ±0,7´´ | ±1´´ | ±1,5´´ | ±2´´ |

**1.2 Трилатерация**

Трилатерация – построение на местности примыкающих друг к другу треугольников и измерение длин всех их сторон. Сети трилатерации, создаваемые для решения инженерно – геодезических задач, часто строят в виде свободных сетей, состоящих из отдельных типовых фигур: геодезических четырехугольников, центральных систем или комбинаций с треугольниками. Решаются треугольники по формулам тригонометрии, находятся углы треугольников аналогично вычислениям элементов системы треугольников на рисунке 1.

Широкое распространение сети трилатерации получили при строительстве высокоэтажных зданий, дымовых труб, атомных электростанции. Совершенствование и повышение точности свето- и радиодальномеров увеличивает роль трилатерации, особенно в инженерно-геодезических работах.

**1.3 Полигонометрия**

Полигонометрия (от греч. polýgonos – многоугольный) – один из методов определения взаимного положения точек земной поверхности для построения опорной геодезической сети служащей основой топографических съёмок, планировки и строительства городов, перенесения проектов инженерных сооружений в натуру и т.п.

Положения пунктов в принятой системе координат определяют методом полигонометрии путём измерения на местности длин линий, последовательно соединяющих эти пункты и образующих полигонометрический ход, и горизонтальных углов между ними. Так, выбрав на местности точки 1, 2, 3, …, n, n + 1 измеряют длины s1, s2,..., sn. линий между ними и углы b2, b3,..., bn между этими линиями (рисунок 3).

Рисунок 3 - Полигонометрия

Как правило, начальную точку 1 полигонометрического хода совмещают с опорным пунктом Рн, который уже имеет известные координаты хн, ун и в котором известен также исходный дирекционный угол aн направления на какую-нибудь смежную точку Р'н. В начальной точке полигонометрического хода, т. е. в пункте Рн, измеряют также примычный угол b1 между первой стороной хода и исходным направлением РнР’н. Тогда дирекционный угол ai стороны i и координаты xi+1, yi+1 пункта i + 1 полигонометрического хода могут быть вычислены по формулам:

ai = aн + åir=1br - i 180° (1)

xi+1 = хн + åir=1srcosar (2)

yi+1 = ун + åir=1srsinar. (3)

Для контроля и оценки точности измерений в полигонометрическом ходе его конечную точку n + 1 совмещают с опорным же пунктом Pk, координаты xk, yk которого известны и в котором известен также дирекционный угол ak направления на смежную точку P'k. Это даёт возможность вычислить т. н. угловую и координатные невязки в полигонометрическом ходе, зависящие от погрешностей измерения длин линий и углов и выражающиеся формулами:

fa = an+1 - ak (4)

fx = xn+1 - xk (5)

fy = yn+1 - yk. (6)

Эти невязки устраняют путём исправления измеренных углов и длин сторон поправками, которые определяют из уравнивания по методу наименьших квадратов.

При значительных размерах территории, на которой должна быть создана опорная геодезическая сеть, прокладываются взаимно пересекающиеся полигонометрические ходы, образующие полигонометрическую сеть (рисунок 4).

Рисунок 4 - Полигонометрическая сеть

Пункты полигонометрии закрепляются на местности закладкой подземных бетонных монолитов или металлических труб с якорями и установкой наземных знаков в виде деревянных или металлических пирамид.

Углы в полигометрии измеряют теодолитами и электронными тахеометрами, причём объектами визирования, как правило, служат специальные марки (или отражатели), устанавливаемые на наблюдаемых пунктах. В случае использования теодолита длины сторон полигонометрических ходов и сетей измеряют стальными или инварными мерными лентами, а также светодальномерами. Результаты измерений длин и углов в полигонометрии путём введения в них соответствующих поправок приводят в ту систему координат, в которой должны быть определены положения полигонометрических пунктов.

В зависимости от точности и очерёдности построения ходы и сети полигонометрии делятся на классы, которые должны соответствовать классам триангуляции. Различные классы государственные полигонометрические сети характеризуются следующими показателями точности (таблица 2).

Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Классы | Ошибка угла | Ошибка стороны |
| 1 | ± 0,4 | + 1: 300 000 |
| 2 | ± 1,0 | ± 1: 250 000 |
| 3 | ± 1,5 | + 1: 200 000 |
| 4 | ± 2,0 | ± 1: 150 000 |

Полигонометрические сети, создаваемые для инженерных и других целей, особенно для городских съёмок, могут иметь несколько иные показатели точности.

Время возникновения метода полигонометрии неизвестно. В прошлом он имел ограниченное применение из-за большого объёма линейных измерений, затруднённых к тому же условиями местности, громоздкости необходимого оборудования и невозможности контроля результатов работы до её полного завершения. Поэтому в прошлом метод полигонометрии применялся только для обоснования городских съёмок и для сгущения опорной геодезической сети, созданной методом триангуляции.

Появление в начале 20в. подвесных мерных приборов из инвара облегчило линейные измерения, повысило их точность и сделало их менее зависимыми от условий местности. В связи с этим метод полигонометрии по значению и точности стал сравним с методом триангуляции.

**2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МЕСТНОСТИ**

На район работ имеется учебная карта масштаба 1:50000 с номенклатурой У-34-37-В (Снов).

*Рельеф местности*

Рельеф данной местности преимущественно горный. Максимальной точкой является высота 293,4 м. в юго-восточной части участка. Минимальная высота 134,0 м., находящаяся в западной части участка. Берега рек и озер заовражены.

*Гидрография*

На данном участке гидрография хорошо развита. Из наиболее крупных рек можно выделить реки Соть и Орляна. Из озер Холодное и Вольное.

Река Соть протекает с запада на юг. Скорость течения равна 0,1м/с., средняя ширина реки 267,5м., глубина 4,8м., характер грунта дна песчаный. На реке имеется паром с размерами 5х4м., грузоподъемностью 5т. расположенный у села Быково. На реке Соть сооружен каменный мост. Длина каменного моста, расположенного возле села Каменогорск 170м., ширина проезжей части 8м., грузоподъемность 50т.

Река Соть имеет множество притоков. Наиболее крупным является река Тихая. Она берет начало с запада данного участка. Скорость течения равна 0,2м/с., ширина 40м., глубина 2,1м. характер грунта дна песчаный. Районы этой реки заболочены. На правом берегу имеется озеро Щучье, на левом озеро Камышеваое. На реке сооружены два деревянных моста, расположенные возле села Борисово. Длина мостов 50м., ширина 4м., грузоподъемность 6т.

Река Тихая так же имеет приток - небольшая река Нера. Она протекает с запада на север.

В восточной и юго-восточной части данного участка имеются озера Вольное и Холодное, а так же множество мелких рек. Они расположены возле населенных пунктов.

*Растительность*

Растительность на данном участке сосредоточена неравномерно. На северо-востоке располагается лес. Породы деревьев:

- сосна и дуб - средняя высота деревьев 15м., толщина деревьев 0,20м, расстояние между деревьями 4 м.

- сосна и береза – высота деревьев 20м., толщина 0,25м., расстояние между деревьями 5м.

На юго-востоке, возле населенного пункта Снов, имеются лесные насаждения, Сновский лес. Породы деревьев – сосна и береза. Высота деревьев 25м., толщина 0,30м., расстояние между деревьями 5м.

Так же имеются мелкие лесные насаждения в южной и юго-восточной части участка.

*Дорожная сеть* Дорожная сеть на данном участке, в основном, развита на юго-западе, где расположено большинство населенных пунктов. Имеются железные дороги, проходящие по направлению Снов-Каменногорск. Автомобильная дорога проходит с северо-запада на юго-восток. Она растянута по всей территории участка. Часть дороги проходит по берегу реки Соть. Ширина проезжей части составляет 8м., ширина земляного полотна 17м.

*Населенные пункты*

Крупные населенные пункты расположены на востоке и юго-востоке участка. Самым крупным являются Снов, Каменногорск, Крюково, Марково, Лебяжье. Населенные пункты располагаются у берегов рек и озер и лесных насаждений.

Из промышленных предприятий можно выделить мукомольный завод, кирпичный завод в поселке Каменногорск, мукомольные заводы в поселке Снов.

Также в населенных пунктах имеются церкви, кладбища, линии связи.

*Топографо-геодезическая точность*

На данной территории 12 пунктов государственной геодезической сети триангуляции III класса.

**3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

**3.1 Проектирование сети триангуляции**

Проектирование сети триангуляции включает:

- анализ геодезической изученности района работ с целью возможно более полного использования ранее развитых сетей;

- составление схемы проектируемой сети на карте с учетом наилучшего расположения пунктов и создания нужной их густоты в соответствии с техническим заданием;

- предварительный расчет высоты сигналов на пунктах триангуляции;

- установление методики работ, технических допусков в соответствии с действующими инструкциями по производству геодезических работ и предрасчет ожидаемой точности элементов триангуляционной сети;

- разработку мероприятий по организации и плана их выполнения.

Важным моментом при проектировании является правильное определение местоположения проектируемых пунктов с учетом следующих условий:

1. Длины сторон треугольников должны соответствовать для сети триангуляции 2 класса от 7 до 20 км, для сети 3 класса от 5 до 8 км, для 4 класса от 2 до 5 км.

2. Углы в треугольниках не должны быть менее 30° в триангуляции 2 класса (между направлениями 2 класса) и менее 25° в триангуляциях 3 и 4 классов (между направлениями данного класса). В отдельных случаях в сплошных сетях триангуляции 2 - 4 классов величина углов (между направлениями данного класса) может доходить до 20°, если это ведет к снижению высоты знаков.

3. Учитывать топографические требования к геодезической сети 2 - 4 классов в отношении примерной равномерности распо­ложения пунктов.

4. В рядах и сетях триангуляции проектируются базисные стороны (в исключительных случаях базисные сети). В сплошных сетях триангуляции 2 класса базисные стороны должны располагаться не реже, чем через 25 треугольников. Если сети 3 и 4 классов развиваются па малых участках как изолированные сплошные триангуляционные сети, в них предусматриваются базисные стороны через 20 - 25 треугольников, но не менее двух базисных сторон.

5. В сплошных сетях триангуляции диагональные направления не проектируются, так как при заметном увеличении объема работ дают слишком небольшой выигрыш в точности уравненных элементов (на 10%).

6. Предусматривать возможность дальнейшего развития сети. Пункты сети должны быть видимы на возможно большей площади, а не только по направлениям сети.

7. Высоты знаков на пунктах должны быть наименьшими; для сетей 2 - 4 классов должна обеспечиваться взаимная видимость по линии: визирная цель - место установки угломерного прибора.

8. Для ослабления действия боковой рефракции на результаты наблюдений необходимо при проектировании избегать направлений вдоль крупных рек, озер, склонов, а также над городами и заводами. Реки стремиться пересекать под прямым углом, поверхности озер и больших болот - симметрично.

9. В зависимости от условий района работ необходимо выбрать соответствующий тип геодезических знаков. В безлесных районах предпочтительнее металлические или деревянные разборные знаки. В залесенных и полузакрытых районах с наличием местного строительного леса выгодней строить постоянные деревянные знаки.

10. В зависимости от климатических условий и характера грунта (глубина промерзания, наличие многолетней мерзлоты) выбирают типы центров, подлежащие закладке.

11. При наличии в районе работ ранее исполненных геодези­ческих сетей по основным положениям 1939 г. необходимо преду­смотреть связь с ними проектируемой сети. Эта связь осуществля­ется путем совмещения старых и новых пунктов триангуляции старших классов (нового и старого 2 класса или нового 2 со старым пунктом 1 класса).

Сплошная сеть триангуляции 1 (2) разряда должна опираться не менее чем на три исходных геодезических пункта старшего класса (или разряда) и не менее чем на две выходные стороны (базиса). Цепочка должна опираться на два исходных геодезических пункта и примыкающие к ним две выходные стороны (базиса).

К выбору местоположения для геодезических пунктов предъявляются следующие требования:

- место каждого пункта должно быть найдено и уточнено на местности с учетом последующего выполнения привязки сетей низших разрядов и других работ;

- место пункта должно обеспечить долговременную сохранность центров и наружных знаков. Пункт должен находиться не ближе 120 м от линий тока высокого напряжения и на расстоянии не менее двойной высоты знака от линии автомобильных и железных дорог, а также различных строений;

- пункты триангуляции следует назначать на господствующих высотах, а также на крышах высоких зданий. Видимость по всем направлениям (с запроектированной высоты знака) должна быть проверена непосредственно на местности.

**3.2 Оценка точности сети триангуляции**

При проектировании триангуляции существенную роль играет предвычисление точностей отдельных ее элементов и их оценка.

Оценка точности - это подсчет ожидаемых средних квадратических ошибок различных элементов проектируемых и фактически полученных ошибок для построенных геодезических сетей.

Оценка точности триангуляции выполняется по весам соответствующих элементов триангуляции. Под весом в общем случае подразумевается величина, обратно пропорциональная квадрату средней квадратической ошибки, т.е.

, (7)

где С – постоянная величина.

Для оценки точности триангуляции рекомендуется использовать формулу средней квадратической ожидаемой ошибки логарифма связующей стороны ряда, удаленной от выходной стороны на *n* треугольников:

, (8)

где σ2Аиσ2В - перемены логарифмов синусов связующих углов А и В при изменении их на одну секунду,

 - средняя квадратическая ошибка измерения угла.

Величину  называют ошибками геометрической связи треугольников. Ошибка логарифма стороны, как весовое среднее из двух определений, без учета ошибок выходных сторон, определяется формулой:

 (9)

где: *МRI* – ошибка слабой стороны, вычисленная от базиса В1;

*МRII* – ошибка слабой стороны, вычисленная от базиса В2.

Для перевода величины, выраженной в единицах логарифмов, в значения натуральных чисел надо величину *МlgSR* разделить на 0,43429 - модуль десятичных логарифмов или умножить на 2,3. Полученное значение выражают в относительной мере, т. е. определяют относительную ошибку . Относительная ошибка искомой стороны будет:

, (10)

где М=lge=0,43429 или 1/М=2,3.

Среднюю квадратическую ожидаемую ошибку определения дирекционного угла связующей стороны с номером *n* можно вычислить по формуле:

, (11)

где mα исх – ошибка дирекционного угла исходной стороны;

n – число связующих сторон.

Основные характеристики ряда: величины углов, величины R для каждого треугольника представлены в таблице 3.

Таблица 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № фигуры | Связующие углы | R |
| 1234567 | 42;8066;5943;9666;4358;6458;5875;70 | 6,244,88,13,46,81 |

Суммарная средняя квадратическая ожидаемая ошибка геометрической связи определения длины стороны Е - F, без учета ошибки выходной стороны b1,при mуг=2'', будет





Ошибка логарифма стороны E - F без учета ошибки выходной стороны будет равна:

 или

 единицы шестого знака логарифма.

Для перевода величины, выраженной в единицах логарифмов, в значения натуральных чисел величину  делим на 0,434294 – модуль десятичных логарифмов. Тогда mS G-Н = 10,34.

Ожидаемая относительная ошибка слабой стороны будет

>

Вывод: Запроектированная сеть триангуляции 4 класса удовлетворяет требованиям инструкции.

**3.3 Расчет высоты сигнала**

Обязательным при проектировании сети триангуляции является определение наличия видимости между проектируемыми пунктами, а при ее отсутствии рассчитывают высоты сигналов. Расчет высоты сигналов можно произвести как графически, так и аналитически.

При аналитическом способе обычно применяется формула В.Н. Шишкина.

Допустим препятствие находится в точке С. Для решения задачи с карты берутся высоты запроектированных пунктов А и В, между которыми расположено препятствие в точке С, а также расстояния SА между точками А и С и SВ - между точками В и С (рисунок 5).

Рисунок 5 – Высота сигнала

1. Вычисляют величину *НС выч*:

. (12)

Видимость между точками А и В будет при условии, что выбранное с карты *НС < НС выч*

2. Если видимости нет, сразу получают высоты сигналов:

*l1=l2 =НС - НС выч* (12)

В случае когда можно обойтись одним небольшим сигналом (его намечают на ближайшем к препятствию пункте), высоту сигнала вычисляют по формуле:

 (13)

Вычисления удобно производить при помощи логарифмической линейки. Поправка за кривизну Земли и рефракцию V выбирают из таблиц или вычисляют по приближенной формуле:

 (14)

Вычисления:

Определение видимости между проектируемыми пунктами C и B сети триангуляции IV класса

=51\*25=1275м=1,28км

=117\*25=2925м=2,93км







Так как *НС выч* *< НС* , следовательно видимость между пунктами C и B отсутствует.

Высоты сигналов определяются по формуле:

*l1=l2 =НС - НС выч* = 177,96 = 42,04 м.

Определение видимости между проектируемыми пунктами C и D сети триангуляции IV класса

=44\*25=1100м=1,1км

=140\*25=3500м=3,5км







Так как *НС выч* *< НС* , следовательно видимость между пунктами C и D отсутствует.

Высоты сигналов определяются по формуле:

*l1=l2 =НС - НС выч* = 220 – 179,57 = 40,43 м.

**3.4 Проектирование сети полигонометрии**

Пункты полигонометрии закрепляются на местности закладкой подземных бетонных монолитов или металлических труб с якорями и установкой наземных знаков в виде деревянных или металлических пирамид.

В процессе проектирования полигонометрической сети намечается целесообразный вариант проложения ходов, закрепления центров, производство наблюдений и обработки результатов. На карте, прежде всего, наносят имеющиеся в районе работ пункты триангуляции и полигонометрии. Проектируемые ходы намечают сначала для высших, а затем для низших классов и разрядов с учетом следующих условий:

- линии ходов располагают вдоль улиц, дорог, рек, по просекам и вообще на участках удобных для угловых и линейных измерений; пункты намечают вблизи объектов съемки и строительства в местах, удобных для разбивочных и работ и обеспечивающих их сохранность;

- предусматривается возможность привязки ходов к пунктам высшего класса; если к исходному пункту нельзя примкнуть непосредственно, составляют проект передачи координат с него на пункт полигонометрии с учетом указаний;

- полигонометрические ходы должны быть по возможности вытянутыми и равносторонними; короткие стороны не следует располагать рядом с длинными; практически ход считается вытянутым, если пункты его расположены вправо или влево от замыкающей не более чем на 1/10 ее длины, а стороны составляют с замыкающей углы не более 200;

- для ходов с большим числом подсчитывают ожидаемую линейную невязку М'; если относительная невязка  окажется больше допустимой, проект следует изменить. Следует отметить, что величина относительной невязки полигонометрического хода не всегда является достаточным критерием точности определения координат пунктов, поэтому в отдельных случаях при проектировании ломанных ходов целесообразно вычислять ожидаемую ошибку определения отдельных пунктов.

Полигонометрические сети 4 класса создают в виде системы или отдельных ходов. Проложение замкнутых ходов, опирающихся на один исходный пункт, и висящих ходов не допускается.

Углы в полигометрии измеряют теодолитами и электронными тахеометрами, причём объектами визирования, как правило, служат специальные марки (или отражатели), устанавливаемые на наблюдаемых пунктах. В случае использования теодолита длины сторон полигонометрических ходов и сетей измеряют стальными или инварными мерными лентами, а также светодальномерами*.* Результаты измерений длин и углов в полигонометрии путём введения в них соответствующих поправок приводят в ту систему координат, в которой должны быть определены положения полигонометрических пунктов.

В зависимости от точности и очерёдности построения ходы и сети полигонометрии делятся на классы, которые должны соответствовать классам триангуляции. Различные классы государственных полигонометрических сетей характеризуются следующими показателями точности, приведенными в таблице 2.

Полигонометрические сети, создаваемые для инженерных и других целей, особенно для городских съёмок, могут иметь несколько иные показатели точности.

Время возникновения метода полигонометрии неизвестно. В прошлом он имел ограниченное применение из-за большого объёма линейных измерений, затруднённых к тому же условиями местности, громоздкости необходимого оборудования и невозможности контроля результатов работы до её полного завершения. Поэтому в прошлом метод полигонометрии применялся только для обоснования городских съёмок и для сгущения опорной геодезической сети, созданной методом триангуляции.

триангуляция трилатерация полигонометрический сеть

**3.5 Оценка точности полигонометрической сети методом последовательных приближений**

Оценка проектов полигонометрических сетей заключается в определении ожидаемых ошибок координат узловых пунктов, относительных ошибок ходов и сравнении их с допустимыми. Выполняется строгими и приближенными способами.

Для оценки проектов полигонометрических сетей наиболее простым является методом последовательных приближений. Этот метод дает возможность подсчитать ожидаемую среднюю квадратическую ошибку определения положения каждой узловой точки по отношению к группе смежных узловых точек, а не по отношению к исходным пунктам.

Для начала оценки необходимо произвести линейные измерения. Для этого измеряются длины линий в ходах, сходящихся в узловых точках I и II. Сеть относится к полигонометрии 4 класса. Измерение линий предполагается произвести светодальномером, поэтому средняя квадратическая ошибка измерения линий принята *mS* = ±15 мм, а ошибка угла *mβ* = ±2''.

Вычисленные длины линий представлены в таблице 4.

Таблица 4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № хода | Число сторон в ходе | Длина хода, км |
| r1 | 9 | 6,05 |
| r2 | 14 | 7,35 |
| r3 | 6 | 2,85 |
| r4 | 8 | 4,75 |
| r5 | 7 | 4,45 |

Ожидаемые ошибки определения конечных точек каждого хода вычисляют по формуле:

 (15)

где *n* – количество линий в ходе;

*[S]* – длина хода;

*mS* - средняя квадратическая ошибка измерения линии;

*mβ* - средняя квадратическая ошибка измерения угла.

Вычисленные средние ожидаемые ошибки определения положения конечных точек хода представлены в таблице 5.

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № хода |  |  | *М*2 | М |  |
| r1 | 2025 | 3441 | 5466 | 74 | 1:81757 |
| r2 | 3150 | 7195 | 10345 | 102 | 1:72059 |
|  | 1350 | 573 | 1923 | 44 | 1:64773 |
| r4 | 1800 | 1945 | 3745 | 61 | 1:77869 |
| r5 | 1575 | 1551 | 3126 | 56 | 1:79464 |

Веса определения положения узловых точек I и II по соответствующим ходам r1, r2 и r3; r3, r4 и r5 вычисляются по формулам:

для I узловой точки:

  

для II узловой точки:

  

где С – постоянная величина и равна 100000.

Общий вес определения положения узловых точек I и II будет равно:

Р1= Р1 +Р2+ Р3; Р2 =Р3 +Р4+ Р5 (16)

#### Средние квадратические ошибки определятся формулой:

 (17)



Во 2-м приближении полученные среднеквадратические ошибки узловых точек I и II следует учесть как ошибки исходных данных. Следовательно, для I узловой точки получим:

 (18)

Веса по ходам во втором приближении находятся аналогично. Приведенные вычисления сводятся в таблицу 6. Приближения производятся до тех пор, пока результаты оценки в последних двух приближениях не совпадут.

Таблица 6 – Метод последовательных приближений

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № хода в узловой точке | №исх. точки | 1 приближение |
| Мr | Мисх | Мr2 | М2исх | М2общ | Р |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| r1 |  |  |  |  |  |  |  |
| r2 |  |  |  |  |  |  |  |
| r3 |  |  |  |  |  |  |  |
| МІ2 = \_\_\_\_\_\_\_ **МІ = \_\_\_\_\_\_\_\_\_** | ∑=  |
| r3 |  |  |  |  |  |  |  |
| r4 |  |  |  |  |  |  |  |
| r5 |  |  |  |  |  |  |  |
| МІІ2 = \_\_\_\_\_\_\_ **МІІ = \_\_\_\_\_\_\_\_** | ∑=  |
| № хода в узловой точке | №исх. точки | 2 приближение |
| Мr | Мисх | Мr2 | М2исх | М2общ | Р |
| r1 |  |  |  |  |  |  |  |
| r2 |  |  |  |  |  |  |  |
| r3 |  |  |  |  |  |  |  |
| МІ2 = **МІ =**  | ∑=  |
| r3 |  |  |  |  |  |  |  |
| r4 |  |  |  |  |  |  |  |
| r5 |  |  |  |  |  |  |  |
| МІІ2 = \_\_\_\_\_\_\_\_ **МІІ = \_\_\_\_\_\_\_\_\_-\_** | ∑=  |
| № хода в узловой точке | №исх. точки | 3 приближение |
| Мr | Мисх | Мr2 | М2исх | М2общ | Р |
| r1 |  |  |  |  |  |  |  |
| r2 |  |  |  |  |  |  |  |
| r3 |  |  |  |  |  |  |  |
| МІ2 =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ **МІ = \_\_\_\_\_\_\_** | ∑=  |
| r3 |  |  |  |  |  |  |  |
| r4 |  |  |  |  |  |  |  |
| r5 |  |  |  |  |  |  |  |
| МІІ2 = \_\_\_\_\_\_\_\_ **МІІ = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | ∑=  |

Так как среднеквадратические ошибки узловых точек во втором и третьем приближениях совпали, то приближения больше производить не требуется.

После выполнения оценки необходимо убедиться, что проект сети удовлетворяет точностным требованиям. Для этого по каждому ходу необходимо подсчитать величины влияния предвычисленных ошибок узловых точек, пользуясь формулой:

 (19)

Общая ожидаемая ошибка по ходу определяется формулой:

*М2об= М2исх+ М2r* (20)

где *Мн, Мк* – ожидаемые ошибки определения положения начальной и конечной точек хода;

*Мr* – ошибка, накопленная в результате действия ошибок измерения углов и линий в ходе.

Затем вычисляют среднюю квадратическую относительную ошибку  и предельную относительную ожидаемую ошибку .

Вычисления предельной относительной ожидаемой ошибки приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Вычисление предельной относительной невязки хода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № хода | Длина хода в км, L | Номера точек | М2н | М2к | М2исх | М2z | М2об | Моб,км |  |  |
| начальная  | конечная  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Как видно из таблицы 7 рассчитанные относительные ошибки по всем ходам укладываются в допуски, установленные для полигонометрической сети 4 класса.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Во время выполнения отчета были изучены методы проектирования инженерно-геодезических сетей, рассмотрены вопросы и задачи по инженерной геодезии, закрепившие знания, полученные за курс инженерной геодезии.

На выбранном участке работ запроектированы сети сгущения методом триангуляции и полигонометрии. Сети запроектированы согласно требованиям и соответствуют правилам построения.

В запроектированной инженерно-геодезической сети триангуляции 4 класса ошибка слабой стороны составляет 1: 100000, а допустимая ошибка равна 1:70000, то есть вычисленная ошибка слабой стороны удовлетворяет нормам. Следовательно, данная сеть запроектирована целесообразно с точки зрения требуемой точности.

Обязательным при проектировании сети триангуляции являлось определение наличия видимости между проектируемыми пунктами. Между пунктами C-B и C-D видимость отсутствует. Поэтому для данных линий определены высоты сигналов графическим и аналитическим способами. Их высоты равны 42,04м и 40,43м соответственно.

В полигонометрической сети 4-го класса, полученной путем сгущения триангуляции 4-го класса, ожидаемые ошибки узловых точек I и II соответственно равны \_\_\_мм и \_\_\_мм.

При оценке полигонометрического хода полученный знаменатель допустимой невязки лежит в пределах допустимого значения.

На выбранном участке работ были запроектированы сети триангуляции и полигонометрии.

Данный отчет является итоговой работой за курс инженерной геодезии. В результате работы закрепили знания полученные в течении курса.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Е.Б. Клюшин, М.И. Киселев учебник для вузов «Инженерная геодезия».

2. Инструкция по построению государственной геодезической сети. Геодиздат, 1981.

3. К.Б. Хасенов, Ю.Д. Гусаренко учебное пособие по Геодезии.

4. Судаков С.Г. Основные геодезические сети. Москва: «Недра», 1975.

5. Справочное пособие по рекогносцировке пунктов триангуляции и полигонометрии. Москва: «Недра», 1975.

6. http://revolution.

7. http://www.spbtgik.ru

8. http://window.edu.ru