

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОХОЖДЕНИЮ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫХ И КАДАСТРОВЫХ РАБОТ»

1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Изучение нормативной и технической литературы по видам работ, выполняемым в процессе прохождения учебной практики по дисциплине «Геодезическое обеспечение землеустроительных и кадастровых работ» осуществляется на лекционных и лабораторных занятиях данного курса.

Перед началом выполнения полевых работ необходимо выполнить **внешний осмотр и подготовку к выполнению измерений** геодезического оборудования.

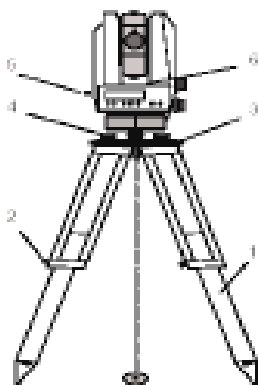
В период прохождения учебной практики будут использоваться электронные тахеометры Trimble, Nikon, Sokkia, Leica и спутниковое оборудование Trimble, Leica, Triumf.

Внешний осмотр исключает некомплектность состава геодезического оборудования, его повреждение, что может исключить данное оборудование из процесса выполнения геодезических работ.

Электронные тахеометры. Подготовка к измерению включает установку прибора, ввод основных величин и необходимые предварительные параметры. После установки сохранения параметров и введения информации о точке, можно начать измерения.

Установка прибора и грубое центрирование

Установка прибора: установить ножки штатива (1) над точкой стояния и выдвинуть их на добную для наблюдений высоту, зафиксировать их, используя винты штатива (2). Установить прибор на штатив (3).

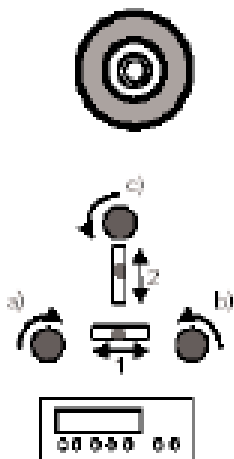


Подъемные винты трегера (4) желательно установить в среднее положение.

Грубое центрирование: после установки штатива над точкой стояния (репером) плоскость штатива (3) должна быть примерно горизонтальна. Посмотрев через оптический центрир (5), устанавливаем центр (центральный кружок центрира) над точкой стояния, используя подъемные винты трегера. Чтобы сфокусировать изображение центрального кружка центрира, необходимо повернуть окуляр. Чтобы сфокусировать изображение

репера, переместите окуляр оптического центрира во втулку.

Горизонтирование и точное центрирование



Грубое центрирование: привести пузырек круглого уровня (6) в нуль-пункт, регулируя ножки штатива (1).

Точное горизонтирование: установив прибор параллельно двум подъемным винтам трегера, необходимо отгоризонтировать прибор, поворачивая два подъемных винта трегера *a)* и *b)* одновременно в противоположных направлениях.

Повернув прибор на 90° , необходимо отгоризонтировать прибор третьим винтом *c)* отдельно. Поворачивая прибор вокруг вертикальной оси, проверьте его горизонтальность.

Затем проверьте остаточное отклонение, поворачивая прибор в двух направлениях (1) и (2). Установите половину отклонения от нуль-пункта уровня, если необходимо.

Точное центрирование: сдвигать трегер на штативе до тех пор, пока изображение репера не появится в центральном круге оптического центрира, повторите горизонтирование при необходимости несколько раз.

Фокусирование сетки нитей: навестись на яркую равномерно окрашенную поверхность и поворачивать окуляр зрительной трубы до тех пор, пока сетка нитей не станет четкой.

Фокусирование объекта: навестись на объект и поворачивать фокусирующее кольцо зрительной трубы до тех пор, пока объект не станет четким.

Ввод основных величин – ввод информации о: коде точки, номере точки, измеренных/вычисленных значениях.

Необходимо ввести: высоты прибора, станции и отражателя; координаты станции или другие известные ориентирные точки.

Предварительные установки делятся на три группы:

Установки в меню измерения: задать единицы измерений для углов и расстояний; установка вертикального угла V ; переключение между отражательным и безотражательным режимами (при наличии данной функции); включение/выключение лазерного указателя (при возможности прибора работать в безотражательном режиме измерений); включение/выключение компенсатора; ориентирование горизонтального круга H_z .

Электронный тахеометр можно использовать для выполнения полевых измерений.

Спутниковое оборудование. В состав приёмника входит антенна, принимающая сигналы навигационных спутников, встроенный УКВ модем или GSM модем и батарея. Приёмник можно использовать как самостоятельное устройство, накапливающее данные для последующей камеральной обработки во внутреннюю память, так и в составе системы, объединяющей работу GPS приемников и электронных тахеометров.

Подготовку к съёмке с размещением приемника на вехе рассмотрим на примере спутникового оборудования Trimble. Порядок действий при монтаже следующий:

1. Накрутить приёмник на веху.
2. К вехе прикрепить держатель контроллера.



3. Вставить контроллер в держатель. Оборудование готово к работе.

Оформляем материалы по результатам осмотра и подготовке к работе геодезического оборудования.

2. СОЗДАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СГУЩЕНИЯ И СЪЕМОЧНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Построение сетей сгущения методом полигонометрии. Основные требования к полигонометрии. Особенности городской полигонометрии

Полигонометрия благодаря ряду преимуществ и использованию новой высокопроизводительной техники в настоящее время является одним из самых основных методов создания планового съёмочного обоснования. Особенно это касается территории городов. Опыт, накопленный при создании сетей полигонометрии, переносится и на другие виды работ. Так при проложении теодолитных ходов с применением электронных тахеометров широко используется трехштативная система, что позволяет отказаться от закрепления отдельных промежуточных точек хода и сократить время на центрировку прибора.

При создании геодезических сетей сгущения на закрытых территориях (прежде всего на территории городов) полигонометрии на нынешнем этапе развития техники нет достойных конкурентов как среди традиционных (триангуляция, трилатерация) так космических методов (GPS). Полигонометрия является и наиболее экономичным методом. Полигонометрия и GPS определения координат дополняют друг друга. И их сочетание позволяет использовать преимущества каждого из них.

Для сгущения пунктов основного геодезического обоснования, полученного методом триангуляции, при городских крупномасштабных съемках строят полигонометрические сети 1 и 2 разрядов. Городские полигонометрические сети опираются на пункты триангуляции, а при малых размерах городских территорий, где триангуляционные сети строить не целесообразно, полигонометрические сети являются самостоятельным первичным геодезическим обоснованием.

Точностные показатели полигонометрии созданной с применением современных геодезических приборов позволяют использовать ее в качестве первичного геодезического обоснования в городах площадью от 25 до 50 км² взамен триангуляции 4 класса. При больших территориях съемки могут прокладываться хода или строиться сети полигонометрии повышенной точности.

Полигонометрические сети создаются в соответствии с инструкцией по топографической съемке, приведенной в табл. 1.

Таблица 1. Основные нормативные показатели полигонометрии 4 класса и 1, 2 разрядов

Основные показатели	Класс		
	4 класс	1 разряд	2 разряд

Пред. длины отдельн. ходов при изм. линий светодальномерами и электронными тахеометрами в зависимости от числа n(сторон) в ходе, (L) км	8 при n=30 10 при n=20 12 при n=15 15 при n=10 20 при n=6	10 при n=50 12 при n=40 15 при n=25 20 при n=15 25 при n=10	6 при n=30 8 при n=20 10 при n=10 12 при n=8 14 при n=6
Пред. длина хода при измер. линий др. методами, (L) км	15	5	3
Пред. длины ходов: между исходной и узловой точкой	2/3 длины отдельного хода, определенных в зависимости от числа сторон n		
Длина стороны хода, км Наименьшая Наибольшая	0.25 2.00	0.12 0.80	0.08 0.35
Относительная ошибка хода не более	1:25000	1:10000	1:5000
СКО измер. угла (по невязкам в ходах и полигонах), угловые секунды, не более	2	5	10
Угловая невязка хода не более, с	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$
СКО измерения длины стороны	до 50 м-2 см от 500 до 1000-3 см свыше 1000 м – 1:40000	до 1000 м- 3 см свыше 1000 м- 1:30000	до 1000 – 5 см

Плотность геодезических пунктов должна быть доведена до 4-х пунктов полигонометрии и триангуляции на 1 км². В отдельных случаях сеть может уплотняться до 8 на 1км². Проектирование полигонометрии 1-2 разрядов выполняют на топографических картах и планах масштабов 1:2000-1:5000. На карту наносят имеющиеся в городе пункты триангуляции и полигонометрии. Ходы проектируются по улицам и проездам, наиболее благоприятным для выполнения угловых и линейных измерений.

Проектируемые ходы намечают сначала для высших, а затем для низших классов и разрядов с учетом следующих условий:

1. Линии ходов располагают вдоль улиц, дорог, рек, по просекам, на участках удобных для угловых и линейных измерений; пункты намечают вблизи объектов

съемки и строительства в местах, удобных для привязки и обеспечивающих их сохранность.

2. Новые хода дополняют собой имеющуюся сеть и совместно с ней представляют надежную геодезическую опору для дальнейшего развития съемочного обоснования.

3. Предусматривается возможность привязки ходов к пунктам высшего класса (разряда).

4. Полигонометрические хода должны быть, возможно, вытянутыми и равно-сторонними с длинами сторон рекомендованными инструкцией; короткие стороны не следует располагать рядом с длинными сторонами.

5. При построении городской полигонометрии возможно параллельное следование ходов одного класса или разряда. Если их длина приближается к предельной, то расстояние между их ближайшими пунктами должно быть не менее 2,5 км для 4 класса и 1,5 км для 1 разряда. При меньших расстояниях ближайшие пункты необходимо связывать ходами того же класса или разряда. Если параллельно следует ход 4 класса и 1 разряда, то при расстоянии между ними менее 1,5 км следует проложить связующий ход первого разряда.

6. Для ходов с большим числом определяемых пунктов определяют ожидаемую линейную невязку.

7. Новые сети триангуляции и полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разряда уравнивают совместно, как единую сеть, с учетом соответствующих весов измерений углов и длин сторон, приняв в качестве исходных пункты государственной геодезической сети (ГГС) 1, 2, 3, 4 классов. Совместное уравнивание городских сетей разных классов и разрядов как единой системы более надежно локализует грубые ошибки измерений, что облегчает их выявление, повышает обусловленность системы нормальных уравнений и тем самым точность уравненных элементов системы. Это сокращает составление каталогов и сроки вычислительных работ. При уравнивании городских сетей применение принципа от общего к частному нежелательно.

8. Пункты полигонометрии 4 класса и 1-2 разрядов в населенных пунктах, должны, как правило, закрепляться стенными знаками, закладываемыми в стены и фундаменты капитальных зданий на высоте 0,5-1,0 м от земной поверхности с учетом удобства линейных и угловых измерений. Грунтовые знаки могут закладываться лишь на участках, где не имеется надежных зданий для закладки стенных знаков. При закладке грунтовых знаков необходимо учитывать расположение подземных коммуникаций, по возможности избегать участков с интенсивным движением и предполагаемых мест будущей застройки. Места расположения пунктов должны обеспечивать безопасность работ по постройке и наблюдениям предусмотренных ПТБ-88.

Измерение углов и длин линий в полигонометрии

Для измерения углов в полигонометрии 4 класса и 1-2 разрядов применяются теодолиты Т2, 2Т2, 3Т2КП, Т5, 2Т5, 2Т5КП, или оборудование им равноточное – электронные тахеометры.

Точные оптические теодолиты и тахеометры приспособлены для работы по трехштативной системе, при положительных и отрицательных температурах. Приборы перед началом работ должны быть поверены и исследованы. В качестве вех используются визирные марки, устанавливаемые на штативах.

Измерения углов выполняется по способу измерения отдельных углов или способом круговых приемов.

Количество круговых приемов зависит от класса или разряда измерений и инструментов

Таблица 2. Рекомендации при развитии сетей полигонометрии

Полигонометрия	Инструменты	Число приемов
4 класс	Т1 (ОТ2)	4
	Т2 (ТБ1)	6
1 разряд	Т2	2
	Т5	3
2 разряд	Т2	2
	Т5	2

При наблюдениях на пункте следует придерживаться следующих рекомендаций:

1. Не изменять фокусировки трубы и отсчетного устройства (при использовании теодолита) во время наблюдений.

2. При вращении теодолита (тахеометра) вокруг вертикальной оси, пузырек цилиндрического уровня не должен отклоняться более чем 2 деления.

3. Наведение на визирные цели биссектора нитей трубы осуществляют наводящим винтом на ввинчивание, если при этом происходит промах (переход нити через предмет), то наведение выполняют снова.

4. Отсчеты по шкале оптического микрометра (при использовании теодолита) снимают дважды после совмещения изображений штрихов вращением головки микрометра на ввинчивание.

5. В процессе измерений необходимо контролировать и при необходимости корректировать центрирование приборов.

6. Угловые измерения на солнечной стороне проводить в пасмурную, переменную ветреную погоду или ночью, в ясную погоду летом целесообразно организовывать измерения до 9 часов и после 15-19 часов в зависимости от ориентировки улиц.

Для измерения длин линий применяют электронные тахеометры.

Таблица 3. Допуски на измерение углов и направлений

Элементы измерений, к которым относятся допуски	Тип приборов (теодолиты или им равноточные тахеометры)		
	Т1,"	Т2,"	Т5,'

Расхождение значений одного и того же угла, полученного из двух полуприемов	6"	8	0,2'
Колебание значений угла, полученных из разных приемов	5	8	0,2
Расхождение результатов наблюдений на начальное направление в начале и конце приема	6	8	0,2
Колебание значений направлений, приведенных к общему нулю в отдельных приемах	5	8	0,2

При выполнении измерений электронными тахеометрами при развитии сетей полигонометрии, следует придерживаться указанных допусков. При выполнении полевых работ следует использовать рекомендуемые схемы развития сетей полигонометрии (рис. 4)

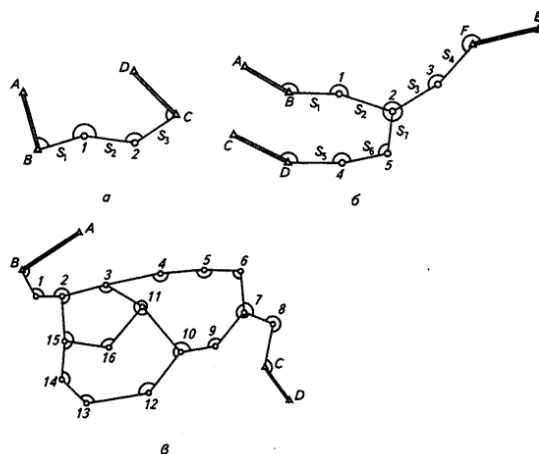


Рис. 4. Схемы полигонометрии

Привязка съёмочных сетей к стенным знакам

Привязка на местности сводится к измерению углов и линий, необходимых для вычисления с надлежащей точностью и контролем координат примычного пункта P и дирекционного угла α направления с примычного пункта на соответствующий стеной знак.

При наличии сохранившихся наземных рабочих центров привязка ходов осуществляется к последним так же, как и к обычным грунтовым знакам.

Привязка к стенным знакам, образующим одинарные, двойные и тройные ориентирные системы, при утрате наземных рабочих центров осуществляется одним из следующих способов.

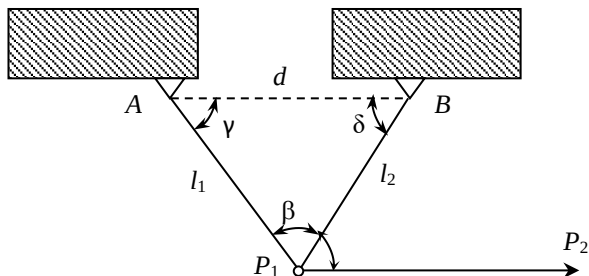


Рис. 5. Привязка к одинарным стенным знакам

Привязка к **одинарным** стенным знакам. Теодолит устанавливают напротив стенного знака на расстоянии не более 20 м с таким расчетом, чтобы был виден и соседний знак (рис. 5), и измеряют расстояние l_1 до ближайшего стенного

знака, угол β между направлениями на знаки. Если позволяют условия местности, измеряют расстояние и до дальнего стенного знака l_2 .

Выполнив эти измерения, вычисляют координаты точки стояния инструмента по известным формулам:

$$\sin \delta = (l_1 \sin \beta) / d; \quad \gamma = 180^\circ - (\beta + \delta); \quad \alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + \gamma; \quad (1)$$

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1}; \quad y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1}. \quad (2)$$

По координатам точек P_1 и B , решая обратную задачу, вычисляют дирекционный угол и расстояние P_1B , которое сопоставляют с непосредственно измеренным l_2 . Расхождение между ними не должно превышать 8 мм.

Дирекционный угол линии α_{P_1B} принимают в качестве исходного для привязываемого хода. Ориентирование по более короткому расстоянию P_1A будет менее точным и поэтому не допускается.

Привязка к двойным системам стенных знаков. При такой привязке теодолит

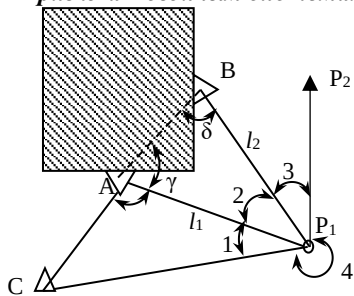


Рис. 6. Привязка к двойным системам стенных знаков

устанавливают в удобном для работы месте напротив стенного знака на расстоянии, примерно равном расстоянию между стенными знаками d , но не далее 20 м (рис. 6). Измеряют расстояния l_1 и l_2 до стенных знаков, а также углы 1, 2, 3, 4 между направлениями на стенные знаки и временной точкой P_2 .

Координаты временной точки P_1 и дирекционный угол линии P_1C , которая будет служить исходной для

привязываемого хода, вычисляют по формулам:

$$\sin \gamma = (l_2 \sin 2) / d; \quad \sin \delta = (l_1 \sin 2) / d; \quad \gamma + \delta + 2 = 180^\circ; \quad (3)$$

$$d = \sqrt{(l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos 2)}; \quad a_{AP_1} = a_{AB} + \gamma; \quad (4)$$

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_1}; \quad (5)$$

$$y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_1}; \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_1C} = (y_C - y_{P_1}) / (x_C - x_{P_1}). \quad (7)$$

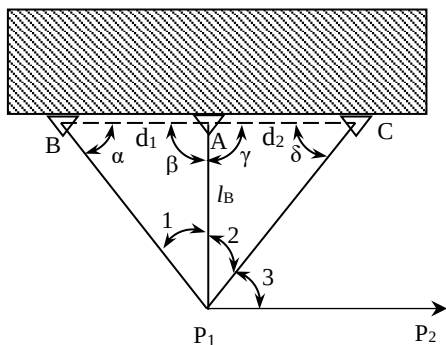


Рис. 7. Привязка к тройным системам ственных знаков

Привязка к тройным системам ственных знаков. Теодолит устанавливают на конечной точке хода P_1 , которую выбирают напротив осевого ственного знака, и измеряют направления на соседний пункт привязываемого хода, а также на центры ственных знаков А, В, С ориентирного пункта. Кроме этого, измеряют полярное расстояние l_0 от точки стояния теодолита до осевого ственного знака А (рис.7).

Из решения треугольников $CA P_1$ и $AB P_1$ находим углы α и δ по формулам:

$$\sin \alpha = (l_0 \sin_1) / d_1; \quad \sin \delta = (l_0 \sin_2) / d_2; \quad (8)$$

затем углы β и γ :

$$\beta = 180^\circ - (\alpha + 1); \quad \gamma = 180^\circ - (\delta + 2). \quad (9)$$

Далее вычисляем расстояние CP_1 и BP_1 :

$$CP_1 = (d_1 \sin \beta) / \sin 1; \quad BP_1 = (d_2 \sin \gamma) / \sin 2. \quad (10)$$

По полученным данным трижды вычисляют координаты точки P_1 по формулам:

$$\alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + \gamma; \quad \alpha_{BP_1} = \alpha_{BA} - \delta; \quad \alpha_{CP_1} = \alpha_{CA} + \alpha \quad (11)$$

$$x_{P_1} = x_A + l \cos \alpha_{AP_1}; \quad y_{P_1} = y_A + l \sin \alpha_{AP_1}; \quad (12)$$

$$x_{P_1} = x_B + BP_1 \cos \alpha_{BP_1}; \quad y_{P_1} = y_B + BP_1 \sin \alpha_{BP_1}; \quad (13)$$

$$x_{P1} = x_C + CP_1 \cos \alpha_{CP1}; \quad y_{P1} = y_C + CP_1 \sin \alpha_{CP1}. \quad (14)$$

Сеть постоянно действующих пунктов в Республике Беларусь

Основной целью использования Спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь (ССТП) является получение координат и высот пунктов геодезического и съёмочного обоснования топографических съёмок, определение на местности границ земельных участков, межевых знаков и поворотных точек границ городской черты, а также центров фотографирования аэрофотокамеры в заданной системе координат.

Кроме того, ССТП Республики Беларусь используется для координатного обеспечения других видов кадастров (градостроительного, лесного, водного), планирования территорий, проектно-изыскательских работ в строительстве, исполнительных съёмок и другого вида работ (рис. 8).

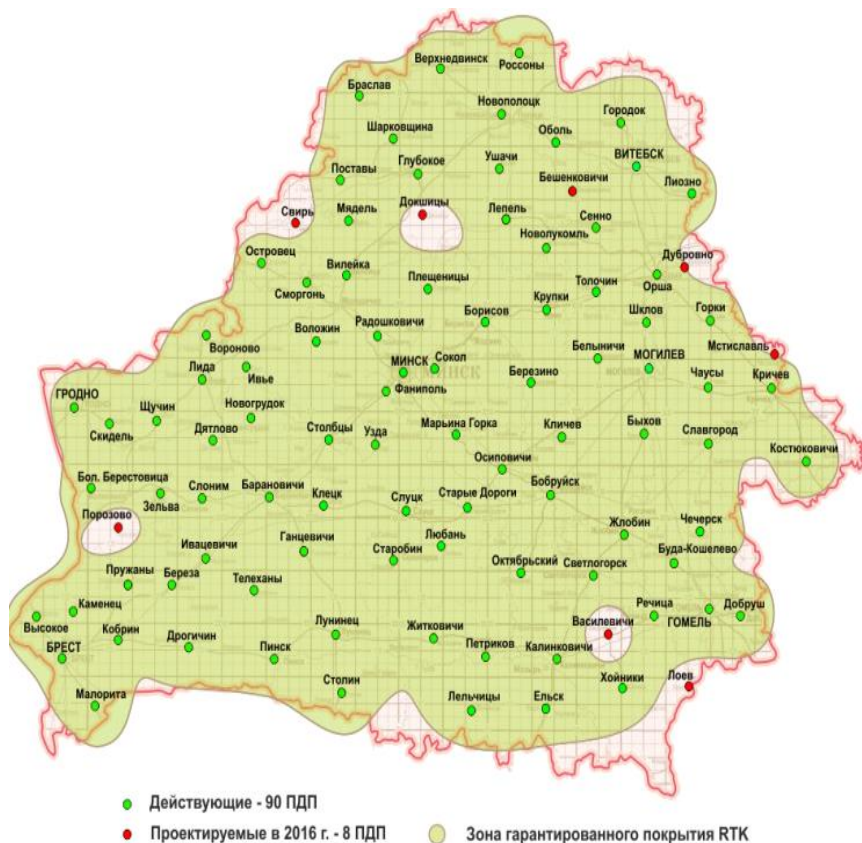


Рис.8. Зона действия ПДП в Республике Беларусь

В ССТП координаты геодезических пунктов и объектов местности представлены в следующих системах координат:

- ITRS (в реализации ITRF2005) – для режима реального времени;
- ITRS, СК-95, СК-63 или местной системе – для режима постобработки.

Точностные и временные характеристики ССТП в режиме постобработки:

- определение координат пунктов (точек) в ITRS (в реализации ITRF2005) в статическом режиме со средней квадратической ошибкой 1 см в плане и 2 см по высоте при времени наблюдений 1 час.

Точностные и временные характеристики ССТП в режиме реального времени:

- возможность работы со спутниковым приемником в любой точке региона;
- определение координат объектов в ITRS (в реализации ITRF2005) в статическом режиме со средней квадратической ошибкой 2 см в плане и 3 см по высоте.

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть Республики Беларусь представлена единственным пунктом МИНСК, связанным геодезическими измерениями с пунктами ФАГС ОФ. Этот пункт закреплен основным центром, не менее четырьмя рабочими центрами и таким же количеством контрольных центров, совмещенных с вековыми фундаментальными нивелирными реперами или пунктами образцовых эталонных базисов, удаленных от основного на расстояние не более 20 км. На одном из рабочих центров оборудована постоянно действующая станция спутникового автономного определения координат.

Спутниковая геодезическая сеть 1 класса СГС-1 предназначена для обеспечения оптимальных условий реализации точностных и оперативных возможностей спутниковой аппаратуры.

Она создается относительными методами космической геодезии, представляет собой пространственное геодезическое построение, опирающиеся на пункты ФАГС и ВГС и состоящее из системы легко доступных пунктов с плотностью, достаточной для эффективного использования всех возможностей спутниковых определений потребителями.

Таблица 5. Точностные параметры СГС-1 в системе ГГС РБ

Средняя длина стороны (D), км	15-25; 8-12 (города)
СКО взаимного положения в плане, мм	$3+1 \cdot 10^{-7}D$
СКО взаимного положения по высоте, мм	$5+2 \cdot 10^{-7}D$
СКО взаимного положения относительно пунктов АГС в плане, мм	20
СКО положения по высоте относительно ро-перов 3 класса, мм	10
СКО взаимного положения относительно пунктов ФАГС, ВГС по каждой координате, мм	30

Каждый пункт СГС-1 включает основной центр и два пункта-спутника, совмещенных с грунтовыми реперами государственной нивелирной сети и удаленные от основного пункта на расстояние не менее 250 м на застроенной территории и 500-1000 м на незастроенной. Пункты-спутники должны находиться в прямой видимости от основного; расстояние между ними определяется со с.к.о. $\pm 0,05$ м, а дирекционное направление - со с.к.о. ± 5 м. Нормальные высоты пунктов СГС-1 определяются из геометрического или спутникового нивелирования с точностью, соответствующей требованиям к нивелирным сетям 2 и 3 классов.

Состав пользовательской аппаратуры

Аппаратура пользователей представлена спутниковыми приемниками.

Любой спутниковый приемник в рабочем состоянии принимает обрабатывает сигналы спутников, расшифровывает навигационные сообщения и преобразует полученную информацию в значения координат, скорости и времени. В нем можно выделить несколько устройств: антенну с соответствующей электроникой, радиочастотный блок, электронную систему слежения, навигационный микропроцессор и блок питания. Иногда приемник дополняется устройством для хранения и передачи данных.

Антенна приемника предназначена для приема радиоволн с правосторонней круговой поляризацией на частотах L₁ и(или) L₂ от спутников, находящихся выше горизонта.

Форма и размеры антенны определяют ее способность улавливать сигналы в определенной полосе частот, диаграмму направленности, способность исключать или ослаблять влияние многолучевости и пр.

Радиочастотный блок предназначен для преобразования принятой антенной радиочастоты в более низкую (промежуточную) частоту более эффективную для использования другими блоками приемника.

Система слежения осуществляет выделение сигналов определенных спутников и идентифицирует их по индивидуальному дальномерному C/A-коду (GPS) или уникальному номеру (ГЛОНАСС), «захватывает» изменяющийся по частоте или времени сигнал, принимает соответствующие навигационные сообщения, расшифровывает их и выполняет необходимые измерения.

Микропроцессор приемника осуществляет обработку преобразованного в цифровую форму сигнала и поддержку системы слежения. Им обеспечивается: начальный захват сигнала спутника, отслеживание кодовых и фазовых сигналов, извлечение навигационного сообщения, контроль текущих состояний спутников созвездия с выдачей соответствующих сообщений, фильтрация сигналов для ослабления помех, прием через специальный радиоканал поправок в псевдодальности, определение координат фазового центра антенны, выполнение других оперативных расчетов.

Экспорт результатов спутниковых измерений в обрабатывающие системы осуществляется в обменном формате ГЛОНАСС и GPS-данных RINEX, который

представляет собой совокупность трех ASCII –файлов, содержащих GPS-измерения, метеорологические данные и навигационные сообщения.

Приемники комплектуются встроенными или отдельными антеннами, аккумуляторами, контроллерами, портами ввода-вывода, встроенными или внешними радиомодемами, которые обеспечивают возможность работы в реальном времени (режим RTK) и др.



Рис. 9 Спутниковое оборудование

Режимы и методы спутниковых измерений

Существуют следующие основные режимы работы спутниковых приемников:

1. статический режим (Static);
2. ускоренный статический режим (Rapid Static) или (Fast Static);
3. режим измерений с возвращением (Reoccupation);
4. режим измерений "стою-иду" (Stop & go);
5. кинематический режим измерений с постобработкой (Kinematic с PP);
6. кинематический режим измерений в реальном времени (RTK);
7. кинематический режим измерений в полете;
8. навигационный режим;
9. кинематический режим измерений и обработки в реальном времени (Real Time Kinematic GPS-RTK GPS).

Для выполнения статической съемки необходимо, чтобы два приемника проводили наблюдение на каждом конце базисной линии приблизительно в течение часа. За один час собирается большое количество данных, что позволяет процессору базисных линий в рамках имеющихся данных решить больше задач, которые невозможно решить, используя более короткие периоды наблюдений. Статический режим используется для измерения протяженных (> 20 км) базисных линий, для создания и реконструкции геодезических опорных сетей.

Для проведения съемки методом «быстрой статики» приемники работают на каждой базисной линии в течение 5-20 минут, в зависимости от ее длины, количества спутников и геометрии созвездия спутников. Метод преимущественно применяется для создания сетей сгущения и съемочного обоснования.

Во время выполнения кинематической съемки в режиме Stop & go (Остановка-и-Движение) используются два и более приемников. Все базисные линии последовательно определяются относительно опорного приемника. Остальные приемники перемещаются в пределах зоны проекта, производя наблюдения на пунктах, координаты которых неизвестны. Использование режимов кинематических съемок требуют обязательной инициализации подвижного приемника.

Непрерывная кинематическая съемка позволяет пользователю вычислять положение подвижного(ных) приемника(ов) в любое время: на станциях съемки и во время движения. Такой метод съемки часто используется для топографического картографирования. Он позволяет для каждой эпохи проводить вычисление вектора, означающее, что в каждый момент времени производится регистрация измерений.

Имеется возможность проведения в реальном времени как непрерывной кинематической съемки, так и кинематической съемки в режиме Stop-&-go , когда решения могут рассматриваться непосредственно в поле. Для этого требуются приемники, оснащенные дополнительным встроенным микропрограммным обеспечением реального времени (RTK параметр), и радиоприемник для данных между базой и подвижными приемниками.

Основные характеристики различных методов измерения приведены в таблице.

Таблица 6. Основные характеристики методов спутниковых измерений

Метод	Миним. число спутников	Миним. время наблюдений	Стандартная точность в планете	Другие характеристики
Статика	4	1 час	Одночастотный: 5 мм+1ppm Двухчастотный: 5 мм+1ppm	Одночастотными приемниками наилучшая точность достигается на базовых линиях менее 10 км. Для двухчастотных приемников ограничений по длине базовой линии нет.
Быстрая статика	4	8-30 минут	5-10мм+1-2ppm	Процедуры – такие же, как и для статистической съемки, но время наблюдений более короткое.
Кинематика с РР	4	2 эпохи	1см+2ppm	Ограничение по длине базовой линии приблизительно 50 км. Ровер должен быть инициализирован для измерений с точностью на уровне сантиметра.

Кинематика в реальном времени (RTK)	4	1 эпоха	1см+2ppm	Необходим радиомодем. Ограничение по длине базовой линии приблизительно 10 км. Ровер должен быть инициализирован для измерений с точностью на уровне сантиметра.
Дифференциальные измерения с PP	4	2 эпохи	Приемники с технологиями Эверест/Максвелл:<0,5 м RMS с 5 спутниками, PDOP<4. Другие приемники: 1-3 м в тех же условиях.	Нет необходимости в непрерывном отслеживании спутников.
Дифференциальные измерения в реальном времени	4	1 эпоха	Приемники с технологиями Эверест/Максвелл:<0,5 м RMS с 5 спутниками, PDOP<4. Другие приемники: 1-3 м в тех же условиях.	Необходим радиомодем. Нет необходимости в непрерывном отслеживании спутников.

Для достижения заданной точности и ослабления ошибок измерений необходимо строго соблюдать технологию работ, основными требованиями которой являются время наблюдений и расстояние между базовым и подвижным приемником.

Методы спутниковых измерений:

1. **Лучевой метод** (разновидность метода – **лучевой с контролем**). Измерения выполняют с одного опорного пункта на

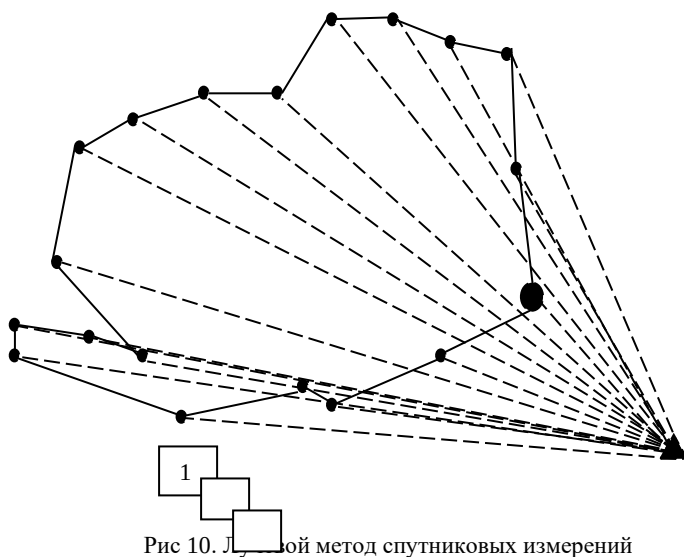
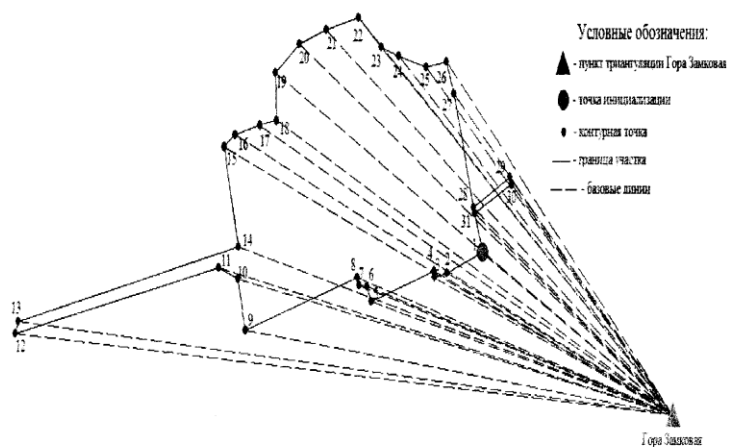


Рис 10. Любой метод спутниковых измерений

При этом методе с опорного пункта координируются определяемые пункты сети.

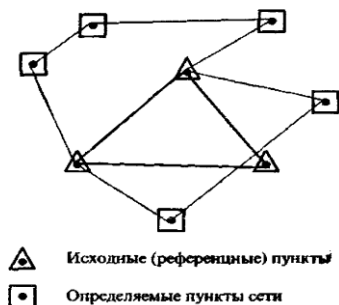


Рис11. Лучевой метод измерений с контролем

К недостаткам лучевого метода построения сети следует отнести недостаточную надежность критериев оценки точности определяемых координат.

2. **Сетевой метод.** При этом методе измерения производятся на каждой линии или на каждом пункте сети.

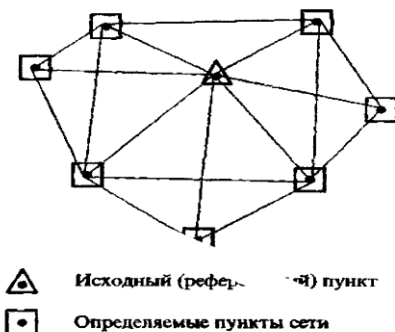


Рис 12. Сетевой метод (одноранговая сеть)

3. Совмещенный метод.

Критерии точности и надежности проектируемой сети повышаются в случае организации сетевых измерений по первому или второму способу - выполнения измерений на каждой линии или на каждом пункте сети. Однако использование одного независимого референсного пункта обуславливает необходимость дополнительных контролей независимыми методами, которые по точности могут оказаться недостаточными.

Планирование измерений

Планирование спутниковых измерений обязательно выполняется при создании и реконструкции государственных геодезических сетей и сетей сгущения.

Предполевое планирование включает составление технического проекта и рабочего проекта. Планирование работ выполняется как традиционными способами (с использованием топографических карт и планов), так и с использованием специализированного программного обеспечения.

Особенности планирования спутниковых измерений:

1. Составление схемы проектируемой сети;
2. Совмещения пунктов спутниковых построений с пунктами существующей сети;
3. Выбор метода закрепления точек на местности;
4. Проведение полевых рекогносцировочных работ;
5. Составление расписаний наблюдений;

Схему сети составляют на топографической карте, плотность сети должна быть равномерной и образовывать геометрически правильные построения. Решают вопрос о включении в проектируемую сеть существующих пунктов и нивелирных реперов.

При расположении опорных пунктов должны соблюдаться следующие требования:

1. выше угла $10-15^{\circ}$ от горизонта не должно быть никаких препятствий;
2. должны отсутствовать отражающие поверхности, которые создают многолучевость (плоские металлические крыши и т.д.).
3. вблизи не должны располагаться мощные радио- и телевизионные передатчики.

При использовании одночастотного спутникового оборудования рекомендуется выполнять измерения на открытой местности.

При установлении границ земельных участков планирование спутниковых измерений рекомендуется выполнять в районах, сильно заросших деревьями, или имеющих большое количество препятствий.

Рекомендации по выполнению полевых работ

Рассмотрим технологии выполнения спутниковых полевых работ при установлении границ земельных участков.

При производстве землеустроительных работ по установлению границ земельных участков рекомендуется применять лучевой (радиальный) метод измерений при использовании режимов работы спутниковых приемников «быстрая статика», «кинематика с постобработкой» и «кинематика в режиме «Stop & go».

Выбор режима спутниковых измерений зависит от необходимой точности определения координат и вычисления площадей земельных участков, длин базовых

линий от исходного пункта и используемых частот спутникового приемника. В таблице приняты следующие обозначения:

σ_p - средняя ошибка положения поворотных точек границы земельного участка относительно ближайших пунктов съёмочного обоснования.

m_p - средняя квадратическая ошибка (СКО) положения поворотных точек границы земельного участка относительно ближайших пунктов съёмочного обоснования;

m_s - средняя квадратическая ошибка определения длины базовой линии;

$m_{s \text{ пред.}}$ - предельная средняя квадратическая ошибка определения длины базовой линии, равная $m_{s \text{ пред.}} = 2,5 m_s$.

При расчете средних квадратических ошибок определения базовых линий исходили из стандартной точности измерений, без учета условий наблюдений, геометрии сети, параметров атмосферы, помех и др. факторов.

Таблица 7. Рекомендуемые режимы спутниковых измерений для одночастотных приемников в зависимости от масштабов кадастрового плана границ земельных участков и длин базовых линий.

№ п/п	Масштаб плана	σ_p , м	m_p , м	Режим измерений	Стандартная точность в плане	Длина базовой линии, км	Ошибки определения длины базовой линии, м	
							m_s , м	$m_{s \text{ пред.}}$, м
1	1:500	0,05	0,06	Быстрая статика	5-10мм+1ppm	5	0,015	0,04
						10	0,02	0,05
						20	0,03	0,05
						25	0,035	0,09
2	1:1000	0,1	0,15	Быстрая статика	5-10мм+1ppm	30	0,04	0,1
						40	0,05	0,12
						50	0,06	0,15
3	1:2000	0,2	0,25	Кинематика в режиме Stop&go Кинематика типа с PP	10мм+2ppm	10	0,03	0,08
						20	0,05	0,12
						30	0,07	0,18
4	1:10000	1,0	1,254	Кинематика в	10мм+2ppm	30	0,07	0,18

				режим Stop&go Кинема- тика типа с PP		40	0,09	0,22
						50	0,11	0,28

При выборе режимов спутниковых измерений следует также учитывать, что при использовании кинематических методов длина базовой линии от опорной (референционной) станции до определяемых точек не должна превышать 50 км. Это связано с тем, что базовый и подвижный приемник в течении установленного времени должны наблюдать одно и то же сочетание спутников. Так как в кинематических режимах период наблюдений очень короткий, то при длинах базовых линий более 50 км сложно получить однозначное решение координат. Для выполнения процедуры инициализации подвижный приемник рекомендуется устанавливать на пункте с известными координатами, что дает дополнительный контроль при обработке результатов измерений.

Кадастровая съемка застроенных территорий

Способ полярных координат. Для выполнения топографической или кадастровой съемки застроенных территорий в настоящее время, как правило, используют способ полярных координат. Использование способа полярных координат объясняется широким внедрением в топографическое производство современных электронных тахеометров, которые позволяют не только быстро и точно выполнять измерение длин линий и углов, но и регистрировать результаты измерений, а затем переносить их на компьютер для дальнейшей математической обработки и построения цифровой модели местности.

Принципиальная схема этого способа с использованием традиционных наземных средств для выполнения измерений приведена на рис. 13.

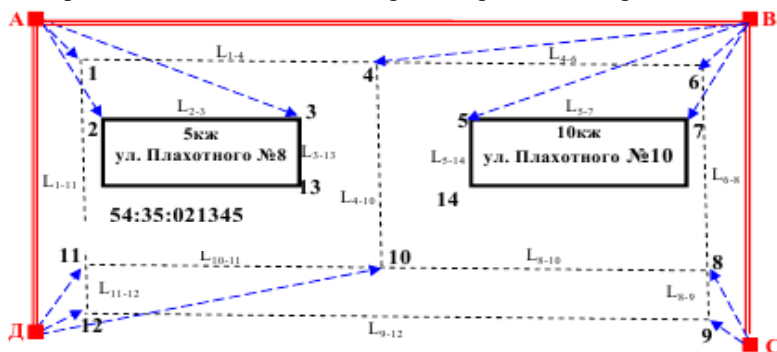


Рис. 13. Кадастровая съемка застроенной территории методом полярных координат:

■ Д - исходные пункты городского геодезического обоснования;

-  – исходная сторона геодезического обоснования;
- 10** – определяемые пикеты (межевые знаки и объекты недвижимости);
-  – измеряемые элементы (углы и длины линий) от пунктов геодезического обоснования до определяемых пикетов;
- L 11-12** – контрольные длины линий, измеренные электронной или металлической рулеткой;
-  – границы земельных участков.

В этом способе от исходных пунктов геодезического обоснования до характерных точек ситуации измеряются углы и расстояния. Выбор исходных пунктов для выполнения кадастровой съемки местности определяется нормативными требованиями, приведенными в табл. 8, и наличием оптической видимости от исходного пункта до определяемой характерной точки местности.

Таблица 8. Нормативные требования к максимальным длинам линий в зависимости от средств геодезических измерений

Масштаб	Способ измерения линий до точек ситуации		
	Электронный тахеометр (м)	Металлическая рулетка (м)	Нитяной дальномер (м)
1 : 2 000	750	250	100
1 : 1 000	400	180	80
1 : 500	250	120	—

Результаты измерений при съемке способом полярных координат заносятся в журнал тахеометрической съемки.

Математическая обработка результатов кадастровой съемки этим способом заключается в вычислении координат межевых знаков и углов объектов недвижимости и построении цифровой модели местности в программном продукте Кредо или MapInfo.

Точность координирования характерных точек местности и межевых знаков определяется инструментальной точностью используемого электронного тахеометра и ошибками построения исходной геодезической основы (для рассматриваемого варианта, изображенного на рис. 12, это ошибки взаимного положения пунктов А, В, С, Д).

Контролем правильности составления цифровой модели местности и проверкой на соответствие нормативным документам является сопоставление измеренных контрольных длин линий (см. рис.12) с их значениями, полученными с цифровой модели местности. Данный контроль выполняется с использованием следующего математического выражения:

$$\Delta = |S_{изм} - S_{план}| = \left| S_{1-4} - \sqrt{(X_4 - X_1)^2 + (Y_4 - Y_1)^2} \right| \leq 0,4_{мм} \cdot M \quad (15)$$

где $S_{план}$ – значение длины линии, полученное с составленного топографического плана местности;

M – знаменатель масштаба составляемого топографического плана.

Точность всего созданного картографического плана может быть вычислена по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}}. \quad (16)$$

где n – число контрольных измерений.

Контрольный обмер объектов недвижимости или структурных единиц городского кадастра выполняется с точностью 1 см электронной или металлической рулеткой.

Недостатком данного способа крупномасштабного картографирования является необходимость большого количества исходных пунктов городского геодезического обоснования. Поэтому, когда плотность пунктов ГГО недостаточна, действующими нормативными документами разрешается построение висячих теодолитных ходов, изображенных на рис. 13.

Отметим, что с использованием при кадастровой съемке современных электронных тахеометров точность измерения элементов при построении висячего теодолитного хода и при координировании характерных точек местности может быть равна.

Число линий в висячем теодолитном ходе может быть не более двух, а предельная длина не должна превышать 400 м.

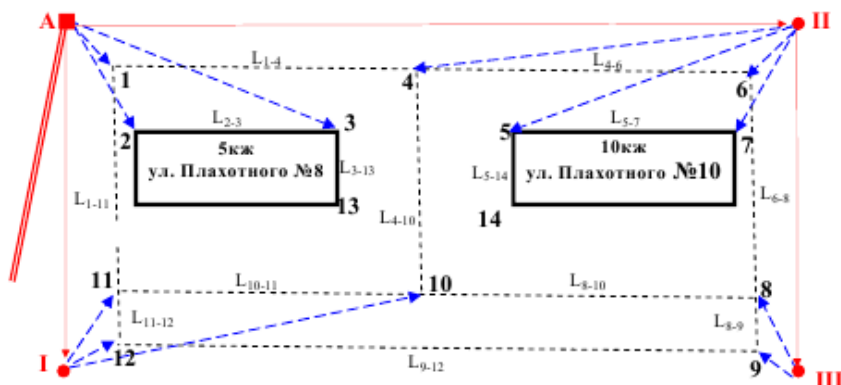


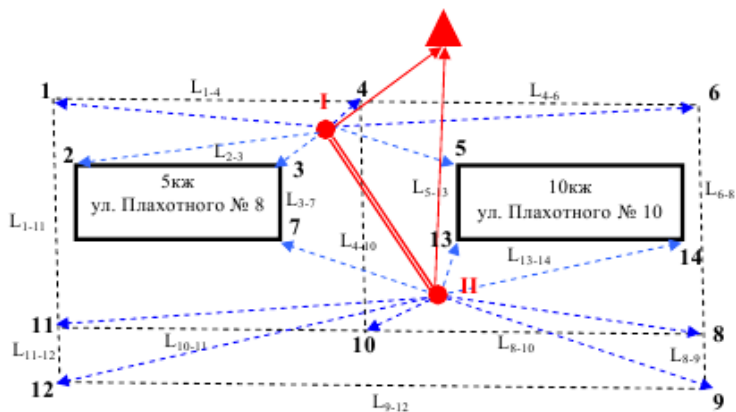
Рис. 14. Кадастровая съемка застроенной территории методом полярных координат с использованием висячего теодолитного хода:

- **A** – исходный пункт городского геодезического обоснования;
- **I** – определяемые точки висячего теодолитного хода;
- ↗ – измеряемые элементы при построении висячего теодолитного хода (углы и длины линий).

Кадастровая съемка застроенной территории с использованием спутниковых технологий

При наличии в территориальной зоне сети постоянных опорных станций наиболее оптимальным способом выполнения кадастровой съемки местности является способ, объединяющей использование спутникового приемника и электронного тахеометра. Принципиальная схема данного способа приведена на рис. 15.

Отметим, что удаление базовой станции от объекта кадастровой съемки может достигать 15 км. Места стояния интегрированной системы выбираются таким образом, чтобы с них была обеспечена видимость на все характерные точки местности, подлежащие координированию.



Контролем точности спутникового позиционирования является выполнение следующего статистического критерия, который основан на сравнении длины линии, измеренной наземным средством и вычисленной из спутниковых определений:

$$\Delta = \left| S_{изм(I-II)} - S_{выч} \right| = \left| S_{изм(I-II)} - \sqrt{(X_{II}^{GPS} - X_I^{GPS})^2 + (Y_{II}^{GPS} - Y_I^{GPS})^2} \right| \leq \frac{0,4_{мм} \cdot M}{2} \quad (17)$$

Заключительным контролем нормативно заданной точности выполнения кадастровой съемки местности, так же, как и в предшествующем способе, является условие (15).

Достоинством данного способа является высокая точность GPS-определений, достаточно разреженная сеть опорных пунктов, до которых отсутствует необходимость иметь прямую оптическую видимость.

Несомненными преимуществами такого способа кадастровой съемки местности являются отсутствие необходимости создавать геодезическое обоснование, удобство в выборе точек стояния электронного тахеометра, меньшие длины линий от исходного пункта до определяемых межевых знаков. Недостатки данного способа – необходимость контроля качества существующего крупномасштабного топографического плана и более низкая точность координирования новых объектов недвижимости.

Трансформирование координат в спутниковых технологиях

При реализации метода относительного позиционирования для перевычисления геоцентрических координат в локальные системы достаточно знать четыре параметра связи между системами: углы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и масштабный фактор m .

Данные параметры можно определить по измеренным приращениям координат нескольких пунктов в системе WGS-84 и известными координатами этих пунктов в проекции Гаусса-Крюгера.

Пусть определяются приращения координат пунктов $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ в спутниковой системе WGS-84 относительно некоторой наземной станции. При производстве относительных спутниковых наблюдений в качестве наземной станции обычно выбирают пункт с известными координатами в проекции Гаусса-Крюгера и высотой H в Балтийской системе высот.

(пример)

Камеральная обработка результатов спутниковых измерений

В общем процессе обработки выделяют 3 этапа:

- первичная обработка. Вычисление выполняется в процессе измерений непосредственно в полевых контроллерах (наличие спутников, фактор PDOP, фактор снижения точности пространственного местоопределения (три координаты) рекоменд. значение 4);

- предварительная обработка. Выполняется с целью оперативной оценки качества измерений в ходе или на объекте с использованием программного обеспечения. При этом выполняется решение неоднозначности по всем линиям, оценка точности по внутренней сходимости результатов, и сходимость результатов по внутренним построениям.

— окончательная обработка измерений. Вычисляются координаты определяемых пунктов.

В зависимости от создаваемых сетей окончательная обработка выполняется:

1. С использованием программ-фирм изготовителей спутникового оборудования (небольшие сети до 20 км).

2. Уравнивание с помощью программ, разработанных в НИИ (региональные сети).

3. В программах уравнивания совместных измерений (ГТС, ФАГС и т.д.).

Основные этапы обработки при уравнивании с использованием программ фирм-производителей включают: Просмотр, редактирование данных (например, исключение проблемных базовых линий из уравнивания) уравнивание измерений преобразование координат. При создании геодезических сетей спутниковыми методами координаты пунктов получают в общеземной геоцентрической системе координат WGS-84. При использовании спутниковой GPS-технологии необходимо выполнять преобразование из геоцентрической общеземной системы WGS-84 к референцной системе СК-42. Одновременно с этим необходимо перейти от

геодезических высот точек к нормальным высотам. Параметры преобразования систем координат определены в результате совместного уравнивания геодезической, спутниковой, астрономической сети.

Однако, координаты пунктов государственной геодезической сети, полученные в результате блочного уравнивания, имеют неизбежные искажения на каждом локальном участке уравнивания т.е. координаты исходного пункта используемого в качестве базовой станции имеют неизбежные погрешности. Таким образом, координаты пункта определяемого спутниковым методом относительно базовой станции будут содержать ошибку, включающую ошибку исходных данных и ошибки измерений. Выходом из такой ситуации будет определение параметров трансформирования систем координат WGS-84 и СК-42 для локального участка местности, используя пункты ГГС. По вычисленным параметрам трансформирования можно создать локальную систему на участок работ, которая приближена к исходной и будет повторять все искажения исходных пунктов ГГС. Программное обеспечение, используемое для обработки спутниковых измерений, как правило, позволяет определять параметры трансформирования систем координат WGS-84 и СК-42 и создавать новые локальные системы координат для локального участка.

(Пример)

Геодезические работы при внутрихозяйственном землеустройстве

Геодезические работы, выполняемые при составлении и перенесении проектов внутрихозяйственного землеустройства на местность

До составления проектов, в процессе их составления и в завершающей стадии производят следующие геодезические работы:

1. Построение геодезического съемочного обоснования;
2. Съемки: аэрофототопографические (контурные, комбинированные, стереотопографические), теодолитные, тахеометрические, нивелирование поверхности различных масштабов и с различной высотой сечения рельефа в зависимости от требований к точности обследования и проектирования объектов.
3. Обновление планов и карт – составление их по результатам новой аэрофото-съемки с использованием существующих материалов геодезического обоснования и старых съемок. В этом случае полевые работы часто ограничиваются маркированием пунктов геодезического обоснования, дополнительным дешифрированием появившихся и съемкой не отобразившихся на аэроснимках контуров ситуации, восстановлением, дешифрированием или съемкой границ землепользования, если их не представляется возможным с необходимой точностью нанести на план (карту) по результатам предыдущих съемок.

4. Корректировка планов – съемка и нанесение на существующий план (карту) появившихся и удаление с плана исчезнувших объектов и контуров ситуации.

Перечисленные четыре вида геодезических работ выполняются при отсутствии доброкачественных планов и карт на территорию землепользования, на которой проводится землеустройство.

5. Составление и оформление планов и карт на основе выполненных съемок.

6. Определение площадей землепользований с составлением экспликаций.

7. Составление проектных планов - копий с планов и карт.

8. Предварительное (эскизное) проектирование объектов.

9. Техническое проектирование объектов.

10. Подготовка к перенесению проекта на местность.

11. Перенесение проекта на местность.

12. Исполнительные съемки.

13. Наблюдение за деформацией и осадками сооружений.

Сущность и методы перенесения проектов на местность

Перенесение проекта землеустройства на местности заключается в проложении и закреплении на местности границ участков, дорог и пр., которые спроектированы на плане. Для перенесения проекта на местность выбирают наиболее простые методы, требующие меньших затрат времени и рабочей силы на производство этого вида работ и обеспечивающие в то же время точность, удовлетворяющую экономическим и техническим требованиям.

Перенесение проекта на местность должно обеспечивать точность положения закрепляемых проектных точек на местности не меньшую, чем для ясно выраженных контуров. Положение этих точек должно определяться вычисленными значениями координат и служить многие годы дополнительными геодезическими обоснованиями при выполнении топографических изысканий на территории хозяйства.

Технически перенесение проекта на местность представляет действие, обратное съемке. Следовательно, точность перенесения можно приравнять к точности съемки:

1). Если перенесение проекта на местность производится по геодезическим данным (величинам углов и длинам линий), получаемым путем вычислений при проектировании аналитическим способом, то на точность, перенесенных на местность участков будут влиять только ошибки полевых измерений.

2). Если же перенесение проекта на местность производится по данным, определяемым графически по плану (после проектирования графическим или механическим способом), то на точность, перенесенных на местность участков, помимо ошибок полевых измерений, будут влиять и ошибки графического определения величин углов и длин линий по плану.

От перенесения проекта на местность как завершающей стадии землеустроительных работ в большей степени зависит точность расположения на местности участков, параллельность или перпендикулярность их сторон, расхождение действительных площадей участков на местности с площадями, указанными в экспликациях и др.

Правильно выбранным методом перенесения проекта на местность не исправить геодезически неточно составленного землеустроительного проекта, неправильно выбранным методом можно свести на ней точность, полученную в процессе проектирования.

Поэтому три геодезических процесса – съемка, проектирование и перенесение проекта на местность должны производиться по точности согласованно. При допущенной неточности в одном из процессов нельзя достичь требуемой точности к проекту в целом.

Перенесение проекта на местность производится следующими методами:

- способом промеров длин линий лентой, рулеткой, светодальномером, светодальномерной насадкой, электронным тахеометром от твердых точек ситуации;
- инструментальным способом – теодолитом с измерением длин линий светодальномерной насадкой, светодальномером, оптическим дальномером, лентой, рулеткой, а также электронным тахеометром;

Применение этих методов возможно для любого землеустроительного проекта и на материале любого вида съемки. Целесообразность применения того или иного метода зависит от:

- 1) технических требований к параллельности и перпендикулярности сторон проектируемых участков;
- 2) способа проектирования, который применялся при составлении проекта землеустройства;
- 3) топографических условий местности (ровная с ясно выраженным рельефом, открытая, закрытая);
- 4) вида планово-картографического материала, использованного при проектировании (планы теодолитной, аэрофотосъемки и др.).

При этих условиях перенесение проекта в пределах одного землепользования может быть произведено различными методами.

Перенесению проекта мерным способом следует всегда отдавать предпочтение перед другими методами, особенно в тех случаях, когда: местность открытая, т.е. проложению проектной линии на местности не препятствуют древесные насаждения, постройки, рельеф; положение концов переносимых на местность линий определяется промером между точками, которые обозначены на плане и надежно определяются на местности (знаки, столбы, вершины углов поворотов четко отображенных контуров ситуации).

Если проектирование производилось аналитическим или графическим способом, когда в процессе проектирования вычислялись длины промеров, то в

качестве опоры при перенесении проекта используются точки ранее проложенных теодолитных ходов или пункты других видов геодезических сетей.

Перенесение проекта на местность теодолитом и мерным прибором производится в случае, когда: условия местности в виду залесенности, закустаренности, наличие древесных насаждений, застроенности или всхолмленности, закрывающих видимость в нужных направлениях, не позволяют осуществить перенесение проекта только методом промеров; проектные границы представляют ломаные линии и при проложении их возникает необходимость строить углы; точки ситуации не могут служить надежной опорой и т.д.

Способ промеров применяется в открытой местности, когда точки поворота границы земельного участка находятся в створе опорных пунктов геодезической сети или бесспорно опознанных контурных точек, либо когда положение точек границы можно определить по перпендикуляру к этому створу.

Инструментальный способ применяется при необходимости построения углов для получения направления от пункта геодезической сети, на точку поворота границы предоставленного земельного участка; проектные границы представляют ломаные линии, точки ситуации не могут служить надежной опорой для перенесения проекта,

В случаях, когда границей предоставленного земельного участка является канал, канава, профилированная дорога, капитальное ограждение и другие твердые линейные контуры, то эти границы переносятся на местность путем отождествления картографического материала (архитектурного (строительного) проекта) с местностью, а в случае необходимости - промерами от оси канала, канавы, дороги, внешней стороны капитального здания или сооружения, внешней стороны ограждения.

Геодезические данные, необходимые для перенесения проекта, определяются в зависимости от способа проектирования. При аналитическом способе проектирования принимают значения углов и линий, заданные при составлении проекта отвода на архитектурном (строительном) проекте объекта строительства. При графическом способе проектирования угловые и линейные величины определяются графически по плану или вычисляются по известным (аналитическим) координатам исходных точек и графическим координатам проектных точек.

При определении линии по плану учитывают деформацию бумаги, если величина поправки превышает величину графической точности (0,1 мм на плане). Кроме поправки за деформацию бумаги вводят еще поправку за перенесение линии с плоскости проекции Гаусса-Крюгера (если план составлен в этой проекции) и поправку за наклон линии к горизонту.

После нанесения на проектный план всех проектных линий спроектированных объектов и записей на нем всех отрезков (промеров) и углов, необходимых для перенесения проекта составляют разбивочный чертеж. Он является техническим документом, прикладывается к техническому делопроизводству и свидетельствует о порядке и правильности выполнения полевых работ.

Подготовка данных для перенесения проекта на местность

Перед перенесением проекта на местность производят *подготовительные работы* в целях установления порядка геодезических действий. Они состоят из:

- рекогносцировки местности;
- установление методов перенесения проекта на местности;
- сгущения пунктов геодезического обоснования;
- определения величин промеров (проектных отрезков) и углов и подписывания их на проектном плане;
- составления разбивочного чертежа перенесения проекта.

При осмотре местности проверяют наличие закрепленных пунктов геодезических сетей для перенесения проекта и устанавливают необходимость их сгущения; уточняют возможности их применения различных методов перенесения проекта на местность.

Если в качестве опоры будут использованы контурные точки ситуации, то выборочно проверяют соответствие этих точек на плане и на местности, сличая контрольные промеры между ними. Если при этом расхождения между результатами измерения линий на плане и на местности превышают величину 1 мм, т.е. предельную ошибку положения точки на плане, то эти точки не могут быть использованы в качестве опоры при перенесении проекта.

Геодезическое обоснование сгущают, если между съемкой и перенесением проекта на местность большой промежуток времени, за который могли оказаться уничтоженными закрепленные пункты, необходимые для перенесения проекта или существующая сеть редка.

Получение необходимых исходных угловых и линейных данных путем проложения инструментальных ходов по границам массивов, в которых проектируются участки, позволит быстрее и точнее составить технический проект, упростить составление разбивочного чертежа, что ускорит и облегчит перенесение проекта на местность. Промежуточные инструментальные ходы обрабатывают и наносят на план в обычном порядке.

Поскольку значительная часть геодезических данных, полученных при полевой подготовке, потребуется и будет использована еще при составлении технического проекта, то целесообразнее проводить эту подготовку после предварительного проектирования.

Промеры (проектные отрезки), необходимые для перенесения проекта на местность – расстояние между опорными точками (пунктами геодезического обоснования) и проектными точками, а также углы между опорными и проектными линиями при аналитическом способе проектирования получаются вычислением по результатам измерений на местности и по заданным (проектным) площадям и записываются на схематических чертежах, откладываются (строятся) на проектном

плане и служат контролирующим средством для обнаружения грубых ошибок при проектировании.

Отрезки, представляющие высоту или основание треугольника, получаемые вычислением при графическом проектировании, также записываются на схематическом чертеже и на проектном плане, чтобы их использовать при перенесении проекта на местность. При проектировании трапеций в обязательном порядке вычисляют их боковые стороны.

Использование ПЭВМ для автоматизированной подготовки данных перенесения проекта на местность.

(пример)

Составление рабочего (разбивочного) чертежа.

Разбивочный чертеж составляют только после нанесения на проектный план всех проектных линий спроектированных объектов и записей на нем всех отрезков (промеров) и углов, необходимых для перенесения проекта на местность.

На разбивочный чертеж наносят только то, что необходимо для перенесения проекта на местность, а именно проектные границы; величины проектных углов и линий, которые нужно построить и отмерить на местности; пункты геодезического обоснования, которые используются при перенесении проекта; контуры ситуации, облегчающие нахождение на местности точек геодезического обоснования или служащие опорой для перенесения проекта; номера и названия полей и участков.

На разбивочном чертеже черной тушью изображаются существующие на местности границы, контуры угодий, условные знаки и т.д. и относящиеся к существующим границам надписи геодезических данных, а красной тушью – все проектируемое. Промеры на разбивочном чертеже записывают нарастающим итогом по ходу, начиная от одной опорной точки до следующей.

Составляя разбивочный чертеж, продумывают маршрут движения при выполнении полевых работ и отмечают его указательными стрелками. При этом новые (проектируемые) теодолитные ходы, вспомогательные магистральные линии и относящиеся к ним геодезические данные лучше показывать другим цветом (синим, фиолетовым) (Приложение 1).

Элементы геодезических разбивочных работ: построение на местности проектного угла и проектного расстояния

Необходимо построить на местности проектный угол и проектную длину линии. Работы ведут в следующем порядке.

Установив теодолит в точку В, наводят зрительную трубу на точку А и берем отсчет по лимбу горизонтального круга. Прибавляем к этому отсчету проектный

угол β и, открепив алидаду, устанавливаем вычисленный отсчет. Теперь визирная ось зрительной трубы теодолита указывает искомое направление. Это направление на соответствующем проекте расстоянии фиксируют на местности в точке C_1 . Аналогичные действия выполняют при другом круге теодолита и отмечают на местности вторую точку C_2 . Из положения двух точек берут среднее (точка C , рис. 16), принимая угол ABC за проектный.

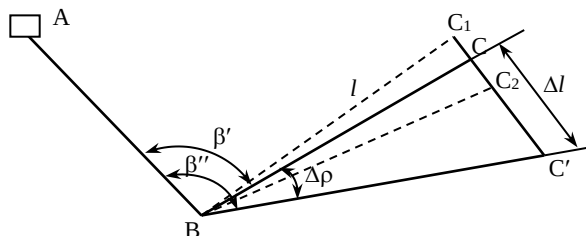


Рис. 16 Схема построения на местности проектного угла

Точность построения на местности проектного угла зависит от инструментальных ошибок, ошибок собственно измерения (визирования и отсчета по лимбу), а также ошибок из-за влияния внешних условий. Ошибки центрирования, редукции и исходных данных (ошибки в положении пунктов A и B) на точность отложения проектного угла влияния не оказывают, что позволяет учитывать их отдельно. В этом заключается еще одна особенность разбивочных работ. Однако эти ошибки вызывают смещение на местности направления BC и выносимой точки C .

Необходимая точность отложения линейной поправки (редукции) Δl может быть подсчитана по формуле

$$m_{\Delta l} = l \frac{m_{\Delta \beta}}{\rho} \quad (18)$$

Если $l=200$ м, $m_{\Delta \beta} = 2''$, то получим $m_{\Delta l}=2$ мм. Очевидно, что с такой точностью линейную редукцию можно легко отложить при помощи рулетки или линейки с миллиметровыми делениями.

Для построения проектной длины линии необходимо от исходной точки отложить в заданном направлении расстояние, горизонтальное проложение которого равно проектному значению. Надо помнить, что в проекте задается именно горизонтальное проложение. Поправки в линию за компарирование, температуру и угол наклона местности необходимо вводить непосредственно в процессе ее построения. Но это затрудняет работу, особенно при необходимости вынесения линии с высокой точностью. Поэтому часто поступают таким же образом, как и при построении углов, т. е. используют способ редукции.

На местности от исходной точки А сначала откладывают и закрепляют приближенное значение проектного расстояния (точка В'). Это расстояние с необходимой точностью измеряют компарированными мерными приборами или точными дальномерами, учитывая все поправки.

Вычислив длину закрепленного отрезка, сравнивают его с проектным значением, находят линейную поправку

$$\Delta l = l_{np} - l_{изм}$$

и откладывают ее с соответствующим знаком от конечной точки В' отрезка. Затем, для контроля, построенную линию АВ измеряют.

Точность построения проектного расстояния в способе редукии в основном зависит от точности линейных измерений расстояния АВ'. Исходя из требуемой точности определения проектного расстояния, выбирают приборы для измерений.

Способы выноса на местность проектных точек и их точность.

Способ промеров по створу. Этот способ является довольно простым, для его выполнения на местности необходимо иметь только мерную ленту.

Сущность работы заключается в определении на местности положения точек $P_1, P_2, \dots, P_n$, которые получаются в результате пересечения исходной прямой линии 1-2 с линиями проекта.

В камеральных условиях определяются отрезки $S_1, S_2, \dots, S_n$.

Для контроля необходимо иметь длину всего отрезка 1-2 (S_{1-2}).

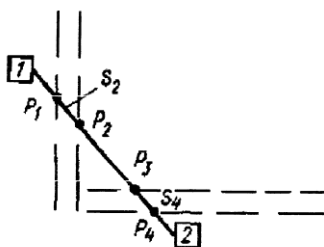


Рис. Способ измерений по створу

Если S_{1-2} измерена с помощью измерителя и масштабной линейки, то допустимое расхождение в сумме измеренных отрезков с длиной S_{1-2} можно вычислить по формуле из

$$f_{доп} = (0,16\sqrt{n+1}) \text{ мм на плане,}$$

где n - число отрезков.

Когда расстояние S_{1-2} найдено из решения обратной геодезической задачи по координатам пунктов 1 и 2, то величина f вычисляется по формуле

$$f_{\text{доп}} = (0,16\sqrt{n + 5}) \text{ мм на плане.}$$

Если невязка допустима, то ее распределяют, вводя поправку поровну в каждый отрезок.

Когда число отрезков S будет большим, то лучше брать не длину каждого из них, а суммарную их величину. Отрезки затем можно найти путем вычитания предыдущего суммарного измерения из последующего. Они могут быть вычислены также по проектным размерам.

В полевых условиях инструментально провешивают исходную линию 1-2 и измеряют ее, откладывая одновременно в ее створе отрезки S_i . В полученных местах забивают колья. Относительные расхождения измеренной длины с той, которая получена в камеральных условиях, не должны превышать $1/1500$ — $1/500$ длины всей линии.

Если относительное расхождение допустимо, то каждую из первоначально намеченных точек передвигают вдоль опорной линии на величину поправки, пропорциональной длинам промеров S_i от исходного пункта. В результате этой работы получают окончательное положение исходных точек, которые закрепляют знаками.

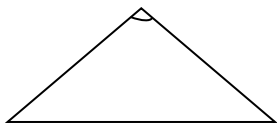
Способ линейной засечки. Этот способ применяют в том случае, когда на плане и местности имеется густая сеть геодезических пунктов и расстояния от исходных пунктов до проектных точек не превышают длины мерного прибора. Он удобен при детальной разбивке зданий и сооружений, а также вспомогательных точек.

На местности выполняют следующие работы. От исходных пунктов A и B с помощью ленты или рулетки радиусами, равными отрезкам a и b , описывают дуги, в пересечении которых будет находиться проектная точка P .

Для повышения точности определения точки P необходимо, чтобы угол засечки не был меньше 40° и не превышал 140° . Для контроля измерений необходимо иметь еще одну дополнительную исходную точку.

Точность перенесения проектной точки P на местность зависит от точности отложения длины отрезков a и b и величины угла при этой точке.

$$m_p = \frac{m_s \sqrt{2}}{\sin \gamma}$$



Способ прямой угловой засечки применяется в том случае, когда на местности имеется густая сеть геодезических пунктов и невозможно провести линейные измерения от исходного пункта до определенной точки,

обычно расположенной на значительном удалении.

Камеральные работы по подготовке исходных данных для перенесения проекта на местность заключаются в вычислении проектных горизонтальных углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Проектный угол β_3 необходим для контроля полевых построений.

Построения проектных углов на местности выполняют одним или двумя теодолитами. Для этого в каждом из пунктов 1 и 2 (рис. 4.11) строят при двух положениях вертикального круга соответственно углы β_1, β_2 . Положение проектной точки Р получают на пересечении направлений 1 - Р и 2 - Р, что достигается следующим образом.

В месте примерного пересечения лучей на каждом из направлений 1-Р и 2-Р намечают по две точки с и с', d и d'. Затем натягивают тонкий шпагат соответственно между точками с и с', d и d' и в месте пересечения отмечают на местности положение точки Р.

Точность перенесения точки Р на местность этим способом зависит главным образом от точности построения проектных углов, величины угла при проектной точке Р и расстояний а и b от исходных пунктов до определяемой точки.

Средняя квадратическая ошибка в положении проектной точки относительно исходных пунктов может быть вычислена по формуле:

$$m_p = \frac{m_\beta}{\rho \sin \varphi} \sqrt{a^2 + b^2}$$

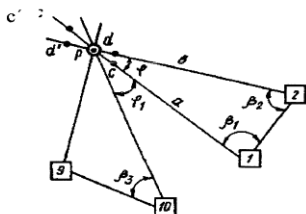


Рис. 4.11. Разбивка прямой угловой засечки

$$m_p = \frac{m_\beta \cdot b}{\rho \sin \varphi} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}$$

где m_p - средняя квадратическая ошибка построения угла;

φ - угол засечки;

$b = S_{12}$ - базис.

При выборе исходных пунктов для перенесения на местность точки Р нужно стремиться к тому, чтобы угол φ был не менее 40° и не более 140° . Наилучшим вариантом в смысле точности определения положения проектной точки будет тот, при котором стороны а и b будут равны между собой, а угол $\varphi = 109^\circ 28'$.

Способ обратной угловой засечки основан на принципе редуцирования. На местности находят приближенно положение P' проектной точки P (рис. 4.14). В этой точке P' устанавливают теодолит и с требуемой точностью измеряют углы не менее чем на три исходных пункта с известными координатами. По формулам обратной засечки вычисляют координаты приближенно определенной точки P' и сравнивают их с проектными значениями.

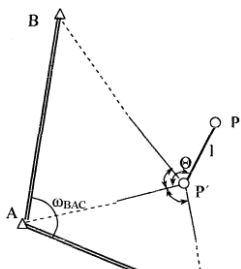


Рис. 4.14. Схема способа обратной угловой засечки

По разности координат вычисляют величины редукции (угловой и линейный элемент) и смещают точку в проектное положение. Для контроля на этой точке измеряют углы, вновь вычисляют координаты и сравнивают их с проектными. В случае недопустимых расхождений все действия повторяют. На точность разбивки способом обратной угловой засечки оказывают влияние ошибки собственно засечки, исходных данных, центрирования теодолита и визирных целей, фиксации разбивочной точки и редуцирования.

При сравнительно больших расстояниях от определяемого до опорных пунктов влияние первых двух источников будет наиболее существенным, остальными ошибками можно пренебречь.

Ошибка положения пункта может быть подсчитана по приближенной формуле:

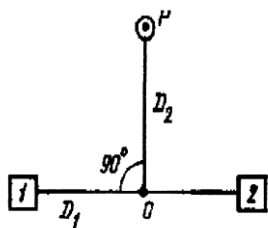
$$m_p = \frac{m_\beta \cdot S_A}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC})} \sqrt{\left(\frac{S_B}{S_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{S_C}{S_{AC}}\right)^2}$$

где S - расстояние от определяемого до соответствующих опорных пунктов;

b - расстояние между соответствующими опорными пунктами;

ω_{BAC} - угол между исходными сторонами.

Способ прямоугольных координат. Этот способ имеет преимущество в том случае, когда на плане и местности имеется довольно густая сеть исходных пунктов. Тогда от исходной линии, например 1-2 (рис. 4.12), проектная точка P может быть определена с помощью двух отрезков $D_1 = x$ и $D_2 = y$, один из которых откладывают по направлению линии 1-2, а другой D_2 - по перпендикуляру к ней.



Полевые работы сводятся к следующему. От исходной точки по направлению к 1-2 откладывают отрезок D_1 и намечают точку О.

В этой точке строят прямой угол и по полученному направлению откладывают отрезок D_2 , в результате чего получают проектную точку Р.

Рис. 4.12. Метод перпендикуляров

Прямой угол с вершиной в точке О можно построить различными способами. Так, например, если отрезок D_2 окажется менее 5 м, то прямой угол можно построить с помощью рулетки. В том случае, когда $5 \text{ м} \leq D_2 \leq 25 \text{ м}$, для построения прямого угла можно применить экер, а во всех остальных случаях при работе нужно использовать теодолит.

Точность положения точки Р относительно исходной линии на местности зависит главным образом от точности откладывания проектных расстояний, построения прямого угла и длины проектных отрезков. Среднюю квадратическую погрешность положения проектной точки относительно исходной линии можно вычислить по формуле:

$$m_P = \sqrt{m_{D1}^2 + m_{D2}^2 + D_2^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}$$

Метод обхода. Одним из наиболее часто употребляемых методов является метод обхода, т.е. проложения по граничным точкам полигонометрических или теодолитных ходов. При этом возможны различные геометрические схемы построения ходов. Некоторые из них показаны на рис. 1.

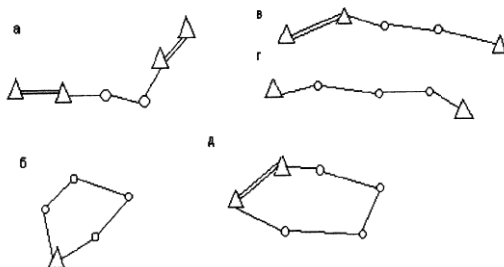


Рис.1 Схемы ходов и полигонов

Полигонометрические и теодолитные ходы по восстанавливаемым или определяемым границам прокладывают в случаях отсутствия или недостаточной точности геодезических данных.

При проложении ходов полигонометрии следует соблюдать требования, приведенные в табл. 3.2, а при проложении теодолитных ходов - в табл. 3.3 и 3.4.

Допускается проложение теодолитных ходов с допустимыми относительными невязками

$$1/T = f_s / [S], \quad (1)$$

равными 1:3000, 1:2000, 1:1000 в зависимости от требуемой точности, условий местности и наличия приборов.

Длина теодолитного хода между узловыми точками или между исходной и узловой точкой должна быть на 30% меньше значений, приведенных в таблице 1 и 2, а между исходными пунктами в сети она может быть на 30% больше.

Длины линий в теодолитных ходах не должны быть меньше 20 м на застроенной территории и 40 м на незастроенной территории. Максимальные длины линий при измерении их светодальномерами, светодальномерными насадками и электронными тахеометрами не ограничиваются (оптимальные длины 1,0 - 1,5 км), а при измерении их оптическими дальномерами, стальными рулетками и лентами не должны превышать 400 м.

Поправка за наклон линии к горизонту должна учитываться при величине угла наклона более $1,0^0$ в городах и более $1,5^0$ – во всех других случаях.

При проложении теодолитных ходов ошибки центрирования прибора над точкой и редукции не следует допускать более 10 мм при максимальных сторонах и 3 мм – при более коротких сторонах.

Таблица 1. Предельная длина теодолитного хода, км

Масштаб плана (съёмки)	Предельная абсолютная невязка	Открытая местность, застроенная территория			Закрытая местность, незастроенная территория	
		1/T=1/3 000	1/T=1/2 000	1/T=1/10 00	1/T=1/2 000	1/T=1/100 0
1:10 000	5,0	18,0	12,0	6,0	18,0	9,0
1:50 00	2,5	9,0	6,0	3,0	9,0	4,5
1:20 00	1,0	3,5	2,5	1,2	3,5	1,8
1:10 00	0,5	1,8	1,2	0,6	1,8	1,0
1:50 0	0,3	0,9	0,6	0,3	0,6	-

Таблица 2. Показатели теодолитных ходов

Основные показатели	Знаменатель относительной ошибки		
	3000	2000	1000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах, полигонах), сек, не более	15	20	30
Угловая невязка в ходах или полигонах, сек, не более (n – число углов в ходе или полигоне)	$30\sqrt{n}$	$40\sqrt{n}$	$60\sqrt{n}$
Длина сторон хода, км - наименьшая - наибольшая	0,08 0,80*	0,05 0,50*	0,02 0,35*
* При измерений линий электронными тахеометрами или сведальномерами предельные длины сторон не устанавливается, однако следует избегать перехода от наименьших сторон к наибольшим			
Число сторон в ходе, не более	20	30	40
Средняя квадратическая погрешность измерения длины стороны, см, не более	5	7	10

Полярный метод. В землеустроительной практике широко используется также полярный метод определения положения граничных точек (рис. 3.9). Однако его применение требует особой тщательности и аккуратности при проведении работ. Это объясняется отсутствием в данном методе объективного контроля измерений.

Передача координат в полярном методе с пункта A с известными координатами (X_A , Y_A) и дирекционным направлением (AB), на определенный пункт P (межевой знак, контурную точку) осуществляется по измеренному на пункте A полярному углу φ и по длине расстояния $AP = S$, измеренного электронным тахеометром, сведальномером, мерным прибором (рулеткой, лентой).

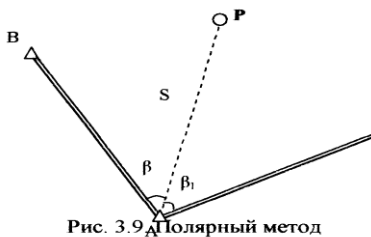


Рис. 3.9. Полярный метод

В полярном методе координаты определяемого пункта вычисляются по известным формулам

$$X_P = X_A + S \cos(\alpha_{AB} + \beta)$$

$Y_P = Y_A + S \sin(\alpha_{AB} + \beta)$, а средняя квадратическая ошибка определяемого пункта P относительно исходного A будет определяться величиной

$$M_P = \sqrt{m_s^2 + S_{AP}^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}$$

где m_s , m_β - соответственно, средние квадратические ошибки полярного расстояния S и полярного угла β ;

ρ - число угловых секунд или минут в радиане.

Более надежную оценку точности можно получить по результатам вычисления координат поворотных точек участка, используя формулу 4.9

$$m = \sqrt{\frac{\sum(\Delta X^2 + \Delta Y^2)}{n}},$$

$$\Delta X = X_1 - X_2,$$

$$\Delta Y = Y_1 - Y_2$$

где X_1, X_2, Y_1, Y_2 - координаты поворотных точек участка, вычисленные с пунктов 1 и 2 теодолитного хода по формуле .

Предельные длины полярных расстояний, измеренные только с исходного пункта на определяемый, не должны превышать значений, приведенных в таблице, при измерении полярных углов β и β_1 . Однако определенные таким путем точки не должны включаться в каталог координат сгущения.

Таблица 3. Предельные длины полярных расстояний, м

Масштаб плана	Среднее квадратические погрешности углов, с и расстояний, см				
	10, 2 см	20, 2 см	20, 5 см	20, 10 см	30, 20 см
1:10000	3000	2000	1000	500	250
1:5000	2000	1000	500	250	125
1:2000	1000	500	300	150	50
1:1000	500	225	150	75	---
1:500	225	150	100	---	---

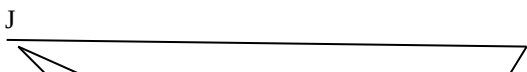
При определении координат пункта P полярным методом независимо от двух исходных пунктов A и B измерения следует выполнять с точностью указанной в таблице, а предельные длины допускается увеличивать на 40 %. В этом случае определяемый пункт можно относить к пунктам сетей сгущения соответствующего разряда и включать в каталог координат, если средняя квадратическая ошибка измерений полярных углов не превышает 10".

Метод свободного выбора станции. Использование при разбивочных работах новых измерительных средств дало возможность реализовать новую технологию под названием «метод свободного выбора станции».

При реализации данного метода местоположения проектных точек определяют от пунктов исходной разбивочной сети сразу с необходимой точностью.

Электронный тахеометр устанавливают вблизи выносимых точек и известными способами (обратная, линейная, комбинированная засечка) определяют координаты точки стояния прибора.

Полученные координаты сравнивают с проектными координатами выносимых точек и, задавшись методом разбивки проектных точек, вычисляют в поле необходимые разбивочные элементы (полярный угол и полярное расстояние). Затем



выполняют соответствующие построения и фиксируют на местности проектное положение выносимых точек. Рассмотрим пример.

Пусть требуется вынести в натуру точку I. В качестве исходных используются пункты А и В.

Измерив расстояния S_a и S_b и угол β с пункта F (свободная станция) на опорные пункты А и В вычисляют разности:

$$\Delta S_a = S'_a - S_a$$

$$\Delta S_b = S'_b - S_b$$

Редукционные элементы y_1, x_1 вычисляют по формулам:

$$y'_1 = \frac{\Delta S_a}{\sin \beta'} - \frac{\Delta S_b}{\operatorname{tg} \beta'}$$

$$x'_1 \approx -\Delta S_b$$

В случае использования для разбивки метода полярных координат

$$Q = 180^\circ + \operatorname{arctg} \frac{y'_1}{x'_1}$$

$$S = \sqrt{(x'_1)^2 + (y'_1)^2}$$

Вынос на местность проектных точек с использованием электронных тахеометров и спутникового оборудования в режиме RTK.

В первом случае вам необходимо занести файл с координатами пикетов в прибор. При выезде на участок нужно установить тахеометр на точке стояния, сориентировать его на точку ориентирования. После этого указать координаты обеих точек в меню прибора и дальше наслаждаться работой техники, которая сама «подскажет» куда ее повернуть и на каком расстоянии в указанном направлении установить точку. «Подсказывать» инструмент может как звуковым сигналом, так и числовыми показателями на дисплее. Все зависит от модели и «навороченности» тахеометра.

Второй, более сложный вариант – это проектирование дирекционных углов и расстояний по выносу пикетов предварительно на ПК, обработка геодезических

измерений. Для этого на компьютере, к примеру, в программе AutoCAD, нужно провести линии от станции стояния к каждому пикету и измерить углы и расстояния. Распечатать все данные. После этого установив и сориентировав прибор на местности, как в предыдущем примере, самостоятельно отмерять все размеры, командуя «ближе – дальше», «влево—вправо» человеку, который будет носить вешку с отражателем.

Ситуация может осложниться отсутствием на участке закоординированных точек стояния и ориентирования. В этом случае нужно установить прибор в любом удобном для выноса месте и отснять расстояния на две любые точки с известными координатами. Далее при помощи линейной засечки построить на ПК или ноутбуке (который можно взять с собой) две окружности с центрами в отснятых точках и радиусами равными измеренным расстояниям. Пересечение данных окружностей и будет указывать на нашу точку стояния. После этого нужно повторить действия, как во втором варианте.