

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт экологии и географии Кафедра  
географии

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Г.Ю. Ямских  
подпись инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

**Использование современных геодезических  
приборов при изучении оврагов на территории  
г.Красноярска**

05.03.02 География

05.03.02.02 «Физическая география и ландшафтоведение»

Руководитель	_____	<u>проф., д-р. геогр. наук</u>	<u>Г. Ю. Ямских</u>
	подпись, дата фамилия	должность, ученая степень	инициалы,
Выпускник	_____		<u>Р.Б. Шишков</u>
	подпись, дата фамилия		инициалы,
Нормоконтролер	_____		<u>М.И. Кокова</u>
	подпись, дата фамилия		инициалы,

Красноярск 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Современные геодезические приборы.....	4
1.1 GPS (GNSS)-технологии.....	9
1.1.1 Геодезическое GPS-оборудование.....	14
1.1.2 Полевой контроллер.....	17
1.1.3 Беспилотники.....	17
1.2 Электронные геодезические приборы.....	20
1.2.1 Электронный тахеометр.....	20
1.2.2 Электронные теодолиты.....	22
1.2.3 Электронные нивелиры.....	24
1.3 Лазерный сканер.....	25
2 Методика работы.....	28
2.1 Полигонометрия.....	28
2.1.1 Общие сведения о полигонометрии.....	28
2.1.2 Полевые работы.....	28
2.1.3 Камеральные работы.....	32
2.2 Нивелирование.....	33
2.2.1 Общие сведения о нивелировании.....	33
2.2.2 Полевые работы.....	34
2.2.3 Камеральные работы.....	35
3 Физико-географическое положение города Красноярск.....	36
3.1 Физико-географическое положение Красноярского края.....	36
3.2 Физико-географическое положение города Красноярск.....	39
4 Выполнение геодезических работ.....	41
4.1 Проведение геодезической съемки поверхности оврагов на Караульной горе г. Красноярска.....	41
4.2 Создание цифровой модели поверхности оврагов на Караульной горе г. Красноярска в программе Topocad.....	44
Выводы.....	53
Список использованных источников.....	54

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования современного геодезического оборудования заключается в том, что сегодняшние потребности народного хозяйства все более и более возрастают. Для обеспечения развития территориально-производственных комплексов, разведки и освоения месторождений полезных ископаемых, проектирования, строительства или реконструкции промышленных, сельскохозяйственных и энергетических объектов, проведения мелиорации, землеустройства, для городского и сельского хозяйства и других задач нужно использовать современное геодезическое оборудование.

Данные приборы все более интенсивно используются при выполнении топографических съёмок, межевании земель, инженерных изысканиях и других геодезических работах. Развитие разнообразия геодезических приборов с каждым годом наглядно демонстрирует растущую потребность в информации о пространственном положении различных объектов.

Цель работы – создание цифровой модели оврагов на территории Караульной горы г. Красноярска с помощью современного геодезического оборудования.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Описать разнообразие современных геодезических приборов.
2. Описать методику исследований.
3. Выполнить геодезические работы и создать цифровую модель поверхности оврагов на Караульной горе г. Красноярска в программе Topocad.

Объект исследования – современное геодезическое оборудование.

Предмет работы – использование современного геодезического оборудования для выполнения геодезических работ с последующим созданием цифровой модели территории.

## 1 Современные геодезические приборы

В наше время создано большое количество геодезических приборов и новых технологий в геодезии, принципиально отличающихся от традиционных. В прежние годы для каждого вида измерений существовал свой тип приборов: для угловых измерений теодолит, для высотных измерений – нивелир, для линейных измерений – рулетка и дальномер. Каждый прибор, в зависимости от предполагаемого использования имел свои точностные характеристики.

Появление электронных тахеометров можно считать естественным развитием геодезической техники, связанным с общим развитием приборостроения и электроники.

Электронный тахеометр сделал возможность получения координат в любой точке объекта в течение короткого промежутка времени без каких-либо дополнительных или предварительных построений на территории. Точность измерения углов в современном электронном тахеометре достигает половины угловой секунды [1].

Электронные тахеометры и спутниковые технологии стали основой геодезических, кадастровых, маркшейдерских, картографических и геолого-разведывательных съемок и объединили эти технические науки одним приборным оборудованием (Рисунок 1) [1].

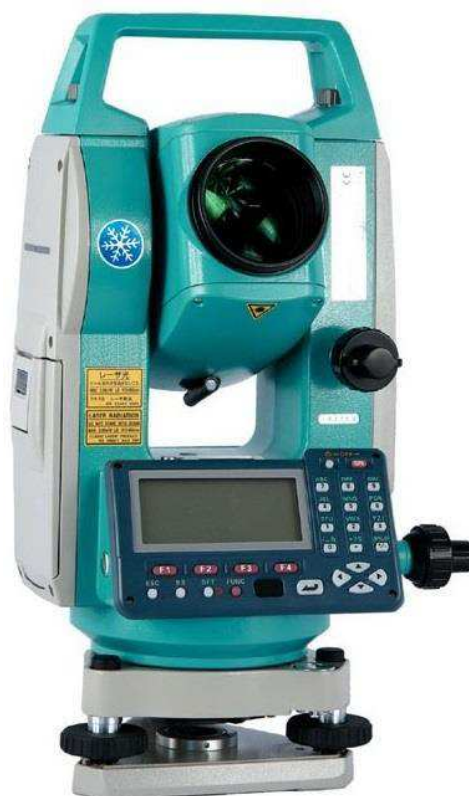


Рисунок 1 – Электронный тахеометр [8]

Так, лазерный ручной дальномер позволяет выполнить обмеры внутри помещения с достаточной точностью, быстро и без привлечения помощников. Существуют ручной и стационарный лазерные дальномеры (Рисунки 2,3).



Рисунок 2 – Лазерный ручной дальномер [8]



Рисунок 3 – Лазерный стационарный дальномер [8]

Для измерения углов созданы электронные теодолиты, которые могут применяться как самостоятельные приборы для угловых измерений в различных видах геодезических работ, так и в связи с функцией накопления и сохранения информации, как небольшие компьютеры с целью обработки измерений (Рисунок 4) [7].



Рисунок 4 – Электронный теодолит [8]

Для получения объемного изображения местности, пригодного для создания цифровых карт используются лазерные сканеры (Рисунок 5).

Лазерный сканер по средствам высокоскоростного сканирования переносит совокупность характеристик реальной поверхности в цифровой вид и представляет результат в пространственной системе координат. Лазерные сканеры – это совершенно новое геодезическое оборудование. Если рассмотреть техническую сторону лазерных сканеров, можно сказать, что лазерный сканер представляет собой прибор, оснащенный высокоскоростным безотражательным лазерным дальномером и системой изменения направления луча лазера – специальное поворотное зеркало [29].



Рисунок 5 – Лазерный сканер [8]

Прогресс современной технологии выполнения полевых инженерно-геодезических работ неразрывно связан с внедрением в геодезическое производство спутниковых систем позиционирования (таких, как GPS «NAVSTAR» и «ГЛОНАСС»), позволяющим резко повысить производительность труда при одновременном повышении точности измерений и снижении материальных затрат.

GPS - американская мировая спутниковая система навигации, основанная на 24 спутниках, вращающихся на средней орбите Земли. GPS позволяет в любом месте Земли (исключая приполярные области), почти при любой погоде, а также в околоземном космическом пространстве определять местоположение и скорость объектов[2].

ГЛОНАСС - советская/российская мировая спутниковая система навигации, основанная на 24 спутниках, движущихся над поверхностью Земли в трёх орбитальных плоскостях с наклоном орбитальных плоскостей  $64,8^\circ$  и высотой 19400 км [2].

GPS отличается от ГЛОНАСС более стабильным соединением, но менее коротким сроком жизни спутников. Общим недостатком использования любой радионавигационной системы является то, что при определённых условиях сигнал может не доходить до приёмника, или приходиться со значительными искажениями или задержками. Из-за чего практически невозможно определить своё точное местонахождение в глубине квартиры внутри железобетонного

здания, в подвале или в тоннеле даже профессиональными геодезическими приемниками [2].

Одним из важных аспектов GPS по сравнению с обычными методами съемки является получение трех координат точек. Трехмерное положение точек получают с помощью засечек с искусственных спутников Земли (Рисунок 6).



Рисунок 6 – GPS приемник [8]

В настоящий момент спутниковые технологии вытесняют традиционные геодезические методы для определения координат, длин линий, углов и азимутов, идет поиск наиболее оптимальных технологий, обобщение и создание



методических, руководящих и инструктивных материалов. Также начинают активно применяться новые виды технологий, например, такие как беспилотные летательные аппараты [3].

Беспилотный летательный аппарат — летательный аппарат без экипажа на борту. Все чаще используется в строительных компаниях для задач, связанных с картографией (либо геодезией). Чтобы определить координаты и земную скорость современные БПЛА используют спутниковые навигационные приёмники. Углы ориентации и перегрузки определяются с использованием гироскопов и акселерометров (Рисунок 7) [29].



Рисунок 7 – Беспилотный летательный аппарат [8]

### 1.1 GPS (GNSS)-технологии

Глобальная спутниковая навигационная система (ГНСС) – это система, которая позволяет определить положение объектов в пространстве на местности путем обработки принимающим устройством спутникового сигнала. ГНСС состоит из трех сегментов: космического, наземного и пользовательского [3]. Космический сегмент представляет собой созвездие спутников. Наземный сегмент включает в себя сеть следящих станций, которые наблюдают за спутниками на орбите и выполняют корректировку их положения. Пользовательский сегмент включает все приемники, выполняющие определение своего местоположения.

В настоящее время существует несколько ГНСС:

- GPS (global position system) - система, управление которой осуществляется правительством США;
- ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система), спутниковая система России;
- Galileo, спутниковая система Европы;
- Compass, Китайская спутниковая навигационная система [3].

Все спутниковые навигационные системы отличаются сигналом, количеством спутников, которые могут находиться на орбите в одно время, разными орбитами полета спутников. Спутники передают сигналы как гражданского (открытые сигналы), так и военного назначения (закрытые сигналы). Для определения пространственного местоположения пользователя с точностью до 15 м ему достаточно иметь спутниковый навигационный приемник.

Для определения пространственного положения с более высокой точностью необходимо выполнять измерения в дифференциальном режиме (т.е. иметь два приемника, один из которых выступает базовым и должен быть установлен на точке с заданными координатами, а второй выступает в качестве роверного (передвижного) для определения координат интересующих точек, при этом оба приемника должны работать одновременно) [4]. Существует два режима выполнения измерений: с постобработкой и в режиме реального времени. При использовании режима с постобработкой в первую очередь выполняются полевые измерения нужных точек, а затем выполняется перенос данных с приемника на компьютер, а дальше производится камеральная обработка измерений с использованием специальных программ. Режим реального времени позволяет получать координаты точек во время полевых условиях, для этого требуется либо радиосвязь, либо GSM-связь между базовым и роверным приемником, снабженных радио или GSM модемами [4].

Плюсом ГНСС является возможность определения координат точек в нужной системе координат на больших расстояниях и вследствие этого значительно сокращаются трудозатраты.

К новым геодезическим технологиям относятся методы определения координат точек (позиционирования) по сигналам со специальных спутников Земли, движущихся по определенным орбитам.

В настоящее время действуют две спутниковые системы определения координат: российская система ГЛОНАСС и американская система NAVSTAR GPS (Навигационная система определения расстояний и времени, глобальная система позиционирования).

Система спутникового позиционирования включает три сегмента: созвездия космических аппаратов (спутников), наземного контроля и управления, приемных устройств (аппаратуры пользователей).

Каждая из современных систем GPS и ГЛОНАСС состоит из действующих и резервных спутников, которые обращаются вокруг Земли по практически круговым орбитам. Орбиты спутников GPS расположены в шести плоскостях по 4 спутника в каждой (Рисунок 8); средняя высота орбиты — около 20 180 км, период обращения спутников вокруг Земли составляет 11 ч. 58 мин. Такое количество спутников и их расположение обеспечивают одновременный прием сигналов как минимум от четырех спутников в любой точке Земли в любое время. С 1983 г. система GPS открыта для гражданских потребителей. Спутники ГЛОНАСС вращаются вокруг Земли в трех орбитальных плоскостях по 8

спутников в каждой на высоте около 19 150 км, период обращения — 11 ч 16 мин. В январе 1996 г. ГЛОНАСС развернута полностью [5].

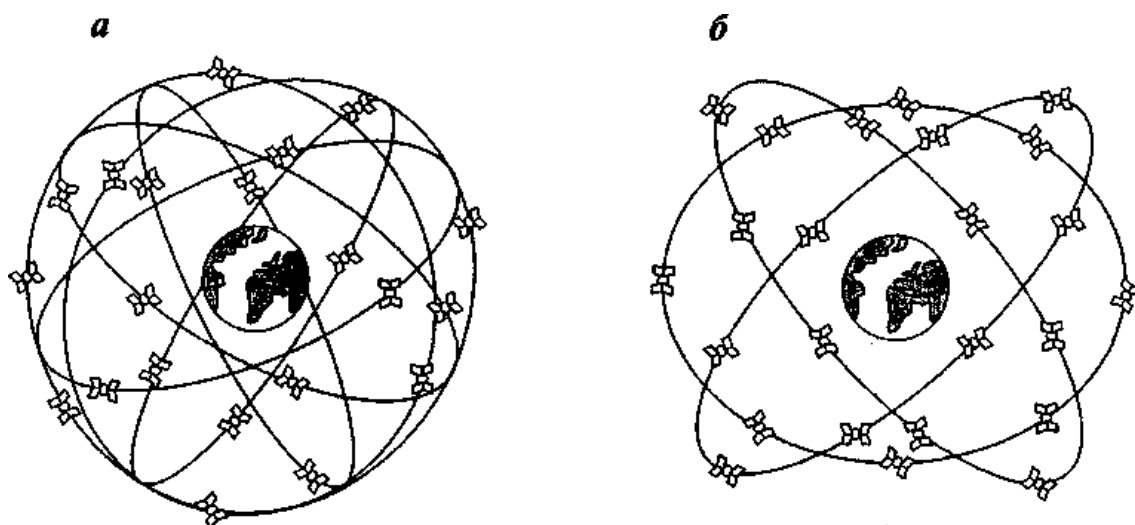


Рисунок 8 - Созвездия искусственных спутников: а — NAVSTAR GPS; б — ГЛОНАСС [9]

Каждый спутник GPS и ГЛОНАСС оборудован солнечными батареями питания, приемно-передающей аппаратурой, бортовыми компьютерами и уголковыми отражателями для лазерной дальнометрии.

Наземный контроль и управление состоит из сети станций слежения за спутниками, равномерно размещенных по территории страны, службы точного времени, главной станции с вычислительным центром и станцией загрузки данных на борт спутников. С пунктов слежения дважды в сутки лазерным дальномером измеряются расстояния до каждого из спутников. Собранную информацию о положении спутников на орбитах передают на бортовой компьютер каждого спутника. Спутники непрерывно излучают для пользователей измерительные радиосигналы, данные о системном времени, свои координаты и другие сведения.

Сегмент приемных устройств включает спутниковый приемник, антенну, управляющий орган-контроллер, источник питания и другие вспомогательные средства.

Определение координат точек земной поверхности с помощью спутников основано на радиодальномерных измерениях дальностей от спутников до приемника, установленного на определяемой точке. Если измерить дальности  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  до трех спутников (Рисунок 9), координаты которых на данный момент времени известны, то методом линейной пространственной засечки можно определить координаты точки стояния приемника  $P$ . Из-за несинхронности хода часов на спутнике и в приемнике определенные до спутников расстояния будут отличаться от истинных. Этим ошибочным расстояниям дали название «псевдодальностей». Для исключения этих погрешностей определение координат точек с достаточной точностью возможно при одновременном наблюдении не менее 4 спутников [4].

Системы спутникового позиционирования работают в пространственной прямоугольной системе координат гринвича с началом, совпадающим с центром масс Земли.

При этом система GPS использует координаты мировой геодезической системы WGS-84 (World Geodetic System, 1984 г.), а ГЛОНАСС — систему координат ПЗ-90 (Параметры Земли, 1990 г.). Данные координатные системы установлены независимо друг от друга по результатам высокоточных геодезических и астрономических наблюдений. Поскольку эти координатные системы основаны на разных эллипсоидах и ориентированы на разные территории, геодезические и прямоугольные координаты одних и тех же точек земной поверхности в этих системах не совпадают. Большинство современных приемников работают со спутниками GPS, поэтому координаты измеренных точек получают чаще всего в системе WGS-84. Для перехода к государственной или местной системе координат используют предусмотренную программами обработки функцию трансформирования [30].

Топографическая съемка с использованием геодезических спутниковых приемников выполняется в три этапа: подготовительные работы, создание геодезического съемочного обоснования, собственно съемка.

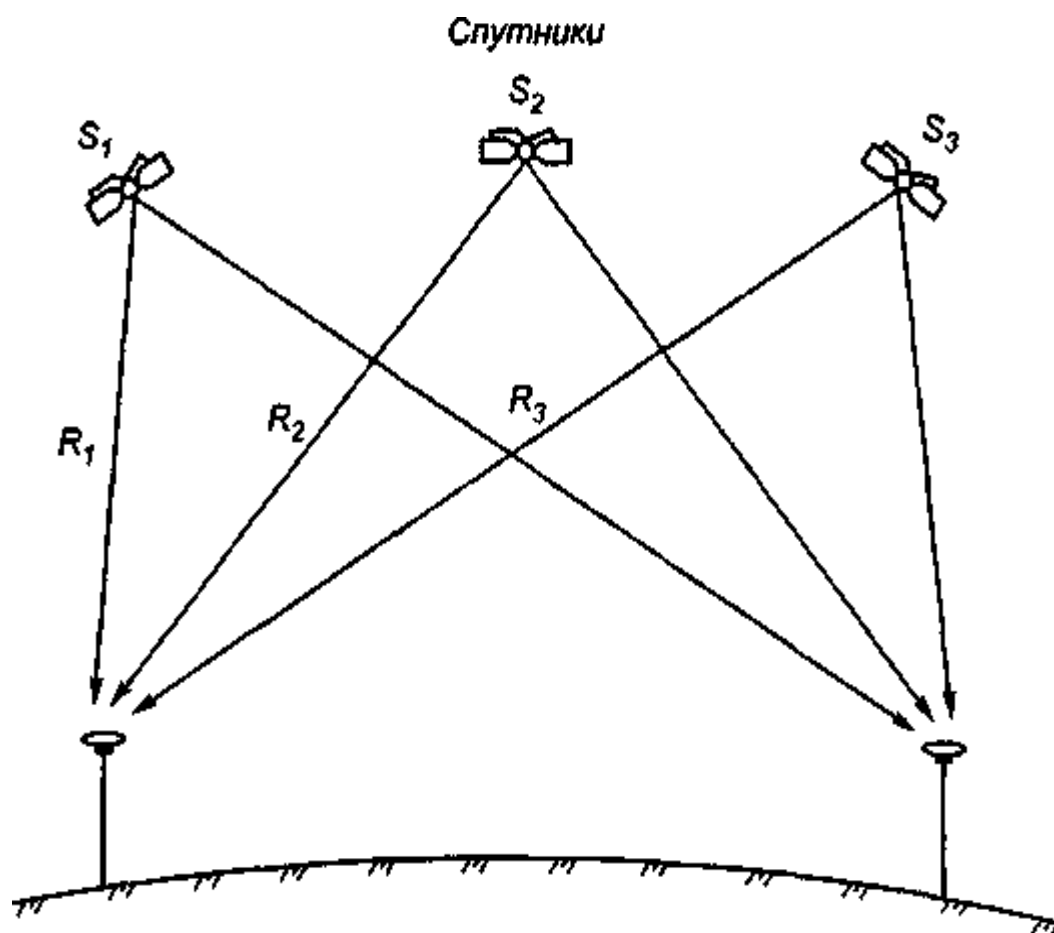


Рисунок 9 - Принципиальная схема спутниковой системы позиционирования [9]

В ходе подготовительных работ выбирают места для закрепления точек съемочного обоснования с таким расчетом, чтобы не было помех от расположенных вблизи сооружений, крон высоких деревьев, источников мощного радиоизлучения. Все эти факторы могут существенно снизить качество выполняемых спутниковых измерений. Кроме того, особое внимание уделяется планированию наблюдений, для чего используют специальный модуль в программном обеспечении спутникового приемника. Этот модуль позволяет получить характеристику процесса позиционирования на любой момент времени и, таким образом, выбрать наиболее благоприятный период для выполнения измерений.

Определение координат пунктов геодезического съемочного обоснования производится методом статических спутниковых наблюдений. Статический метод является наиболее надежным и точным методом, позволяющим получить разность координат смежных пунктов с миллиметровой точностью. Один из приемников, называемый базовым, устанавливают на штативе над исходной точкой с известными координатами (пункт государственной геодезической сети, геодезической сети сгущения), а второй, называемый мобильным, — поочередно на пункты съемочной сети. При этом должно быть обеспечено условие синхронных измерений базовым и мобильным приемниками. Время наблюдений выбирается в зависимости от длин базовых линий, количества одновременно наблюдаемых спутников, класса используемой спутниковой аппаратуры и условий наблюдений. С учетом всех перечисленных факторов время измерения каждой базовой линии может составлять от 15 — 20 минут до 2,5 — 3 часов. Работа с каждым приемником на станции включает: центрирование приемника над пунктом с помощью нитяного или оптического отвеса, измерение высоты антенны с помощью секционной рейки, включение приемника. При измерении в статическом режиме во время работы не требуется производить каких-либо действий. Приемник автоматически тестируется, отыскивает и захватывает все доступные спутники, производит GPS-измерения и заносит в память всю информацию. По истечении необходимого времени наблюдений мобильный приемник переносят на следующую определяемую точку. После окончания измерений производят обработку полученных результатов, которая включает вычисление длин базовых линий и координат пунктов обоснования в системе координат WGS-84, строгое уравнивание сети по методу наименьших квадратов, трансформирование уравненных координат в государственную или местную (условную) систему координат. Точность определения планового местоположения точек статическим способом достигает (5—10 мм) + 1-2 мм/км, высотного — в 2-3 раза ниже [4].

Топографическая съемка местности выполняется посредством проведения кинематических спутниковых измерений, позволяющих получать координаты и высоты точек за короткие промежутки времени. Для этого базовый приемник на штативе устанавливается на пункте съемочного обоснования, а мобильный — поочередно на снимаемые точки, причем приемник вместе с источником питания располагаются в специальном рюкзаке, а приемная антенна и контроллер, с

помощью которого осуществляется управление процессом съемки, крепятся на вехе. Вначале выполняется инициализация — привязка мобильной станции к базовой, для чего измерения на первой точке проводят несколько дольше (20 — 30 с), чем на последующих точках. Установив веху с антенной на точку и задав в контроллере все необходимые параметры (высоту установки антенны на вехе, номер пикета, его признак, например: угол забора, смотровой колодец и т.п.),

Завершают съемку участка наблюдениями на первой точке либо на пункте с известными координатами. После завершения съемки производят обработку результатов так же, как и в случае статических измерений. Точность способа кинематических измерений составляет 2 — 3 см в плане и 6 — 8 см по высоте. Результаты измерений могут быть представлены как в цифровом виде, так и в графической форме.

### **1.1.1 Геодезическое GPS-оборудование**

Геодезические GPS (Global Positioning System - глобальная система место определения) системы позволяют в кратчайшие сроки, с меньшими усилиями и с высокой степенью надёжности получить координаты и высоты объектов.

Космической составляющей любой спутниковой навигационной системы будь это «GPS» или «ГЛОНАСС» является орбитальная группировка спутников, которые постоянно излучают навигационные сигналы для наземного GPS и (ГЛОНАСС) оборудования. Наземный сегмент системы состоит из контролирующих станций и станции управления, которые в конечном итоге обеспечивают надежную работу GPS оборудования. Ведение геодезических работ с помощью GPS увеличивает производительность труда. Можно достигнуть сантиметрового уровня точности определения координат гораздо быстрее, чем при использовании традиционных геодезических инструментов. GPS позволяет вести геодезические работы круглосуточно, в любую погоду, а также, при отсутствии прямой видимости между точками.

В настоящее время в околоземном космическом пространстве находится 24 спутника (SVs) NAVSTAR. Период обращения спутников составляет двенадцать часов, а большая полуось приблизительно равна 20200 км. Спутники сгруппированы на шести орбитах, с наклонами в 55 градусов к экватору [5].

Каждый спутник передает радиосигналы, которые имеют уникальные идентификационные коды. Высокоточные атомные часы на борту спутников управляют генерацией этих сигналов и кодов.

Каждый спутник передает два уникальных кода. Первый и более простой код называется C/A (грубым) кодом. Второй код называется P (точным) кодом. Этими кодами модулируются две несущих волны L1 и L2. L1 несет C/A и P-код, а L2 несёт только P – код [5].

GPS приёмники подразделяются на одночастотные и двухчастотные. Одночастотные приёмники принимают только несущую L1, а двухчастотные и L1 и L2.

Координаты вычисляются методом трилатерации после определения дальности до каждого видимого спутника. Дальности определяются по коду или фазе несущей.

Между генерацией кода в спутнике и приёмом его GPS антенной проходит определённый период времени. Кодовые измерения позволяют определить этот промежуток времени и умножив его на скорость света, мы получим дальность до спутника.

GPS приёмники геодезического класса измеряют фазу в пределах цикла несущей. Длины волн L1 и L2 известны, поэтому дальности до спутников можно определить, добавив фазовый домер к общему числу длин волн между спутником и антенной.

Определение полного числа циклов несущей (длин волн) между антенной и спутником называется разрешением неоднозначности - поиском целого значения числа длин волн. Для измерений в режиме с постобработкой, который используется для определения местоположения с точностью на уровне сантиметра, это целое значение определяется во время обработки на компьютере. Для измерений в реальном времени, которые используются для определения местоположения с точностью на уровне сантиметра, это целое значение определяется в течение процесса, называемого инициализацией [5].

Для геодезических GPS измерений необходимо одновременное наблюдение одних и тех же четырёх (или более) спутников, по крайней мере, двумя GPS приёмниками: базовый приёмник и приёмник - ровер.

Базовый приёмник в течение всего процесса измерений располагается на пункте геодезической основы с известными координатами. Ровер перемещается по определяемым точкам или участвует в процессе выноса точек в натуру. Результатом объединения данных, полученных этими двумя приёмниками, является пространственный вектор между базой и ровером. Этот вектор называется базовой линией.

Для определения положения ровера относительно базы вы можете использовать различные методы измерений. Эти методы отличаются длительностью выполнения измерений:

Для измерений в реальном времени используется радиомодем, который передаёт данные базы роверу. Результаты получаются непосредственно в поле [4].

Методы измерений с постобработкой, требуют записи данных в поле и последующей их совместной обработки на офисном компьютере.

В основном выбор метода зависит от таких факторов, как конфигурация приёмника, требуемая точность, ограничения по времени и необходимости получения результатов в реальном времени.

Геодезисты используют GPS для развития опорных сетей, топографических съёмок и разбивочных работ.

Топографическая съёмка служит для определения координат большого объёма точек в районе работ. По этим измерениям обычно создают топографические планы.

Лучше всего для этого подходят кинематические методы (в реальном времени или с постобработкой) из-за короткого времени стояния на точках [5].

Огромным импульсом развития геодезического GPS оборудования послужило отключение особого режима ограниченного доступа (SA – Selective Availability) в передаваемых навигационных данных со спутника, что позволило определять местоположение объекта с высокой точностью и на всей территории земной поверхности. На российском рынке геодезических техники представлено современное оборудование в сфере GPS систем основных мировых производителей (Topcon, Trimble, Sokkia, Leica, Magellan). GPS приемники геодезические бывают следующих модификаций: одночастотные, двухчастотные и многочастотные, в зависимости от сложности, объема выполняемых работ и финансовых возможностей у потребителя есть возможность приобрести оборудование любой нужной конфигурации.

Одно из требований, предъявляемое временем к GPS оборудованию - это возможность использования различных навигационных систем, которые действуют сейчас: GPS, ГЛОНАСС и перспективный Galileo. Современный GPS приемник геодезический – прибор многочастотный, использующий несколько каналов GNSS как правило с радиомодем и возможностью использования режима RTK. Передовые методики приема сигналов со спутников позволят принимать усовершенствованные GPS сигналы L2C и L5 и сигналы ГЛОНАСС. Усовершенствованные сигналы L2C и L5 будут оперативнее отслеживаться и приниматься, что соответственно улучшит получение качественных результатов в условиях ограниченного приема сигналов GNSS (Global Navigation Satellites System - Глобальные Навигационные Спутниковые Системы) [6]. Выше перечисленные параметры гарантируют пользователям высокую производительность и что немаловажно точность выполняемых работ, позволяют получать координаты с точностью от метра до нескольких миллиметров.

Все методы получения точных пространственных координат связаны с технологией закрепления и определения на местности базовой станции, а «роверные» GPS приемники предназначены для определения координат неизвестных точек. В зависимости от заданной точности, сроков работ, программного обеспечения применяются методы: режим статики, режим кинематики, режим кинематики в реальном времени.

Особую роль в получении необходимых результатов полевых работ играет программное обеспечение. Программы снабжают всем необходимым для определения, импорта и экспорта данных измерений. Обработка и последующий анализ данных выполняется, как правило, другой программой, при этом возможность объединения различных геодезических измерений, и их совместная последующая обработка значительно расширяют границы возможного при выполнении геодезических работ.



### **1.1.2 Полевой контроллер**

Полевой контроллер – относится к сравнительно новому геодезическому оборудованию, существенно повышающему эффективность выполнения топографо-геодезических работ.

В последнее время приводятся различные толкования этого прибора, например: полевой контроллер - представляет собой съемную панель управления [6];

Программируемый контроллер - специальное компьютеризированное техническое устройство, которое используется для управления и автоматизации технологических процессов. В отличие от бытовых компьютеров общего назначения, контроллеры оснащены развитыми устройствами ввода-вывода сигналов с датчиков и команд исполнительным механизмам, предназначены для длительной работы без сервисного обслуживания, а также для работы в неблагоприятных погодных условиях [6].

Полевой контроллер – это устройство для автоматизации топографо-геодезических процессов, управления отдельными функциями геодезического оборудования и хранения полученных результатов, а также для оценки качества наблюдений. Современные полевые контроллеры позволяют выполнить достаточно полную обработку наблюдений. Не заменимы эти приборы при работе с приемниками GNSS, когда в ходе производства наблюдений пользователь может оценить качественные параметры наблюдений и в соответствии с этим скорректировать время работы на данной точке. Еще более важность полевых контроллеров проявляется при работе на современных геодезических системах, объединяющих несколько разнотипных приборов, например – тахеометр и приемник GNSS или полевой сканер и приемник GNSS.

Нельзя не отметить и такую особенность современных полевых контроллеров, как большое количество устройств ввода-вывода информации, ведь зачастую приходится их использовать с различными типами устройств, поэтому развитый интерфейс значительный плюс контроллера.

В настоящее время практически все основные производители геодезического оборудования представляют свои разработки в области полевых контроллеров для комплектования геодезических приборов и систем, и здесь явно просматривается тенденция следования в русле развития современной техники. Если первые контроллеры представляли собой устройства с буквенно-цифровой клавиатурой, то сейчас это типичные КПК с сенсорным экраном.

### **1.1.3 Беспилотники**

Беспилотник ещё недавно считался военной разработкой. Сегодня купить беспилотник может любой желающий, получая возможность решить множество недоступных ранее задач.

Сфера применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) широка, и превосходит даже возможности традиционных пилотируемых аппаратов. С помощью беспилотников вы можете:

- Производить аэрофотосъёмку.
- Исследовать крупные объекты и территорию, в том числе со сложным ландшафтом.
- Осуществлять разметку территории и измерение различных параметров: от температуры до расстояний.

Основные преимущества БПЛА:

Экономичность — беспилотник с камерой и в покупке, и в эксплуатации стоит гораздо дешевле вертолётa с видеооператором, а в случае неполадки падение аппарата не вызовет серьёзных последствий.

Высокая оперативность — вам не нужно согласовывать взлёт с диспетчерской, лететь от аэропорта до места работы и кружить на большой высоте, опасаясь деревьев: беспилотник взлетит откуда угодно и легко уклонится от препятствий.

Универсальность — беспилотный аппарат пролетит там, где не хватит места полноразмерной винтокрылой машине: в узких расщелинах, в просветах между элементами сложных конструкций.

Бесшумность и компактность — беспилотник с камерой поможет вам в наблюдении за живой природой или осмотре крупноразмерных сооружений и сложного ландшафта.

Беспилотные аппараты делятся на самолётные, с несущими плоскостями-крыльями, и вертолётные — квадрокоптеры, с вертикальными роторными приводами. Оба типа летательных аппаратов обладают своими особенностями и преимуществами, а сферы их применения заметно различаются.

Самолётные беспилотники хорошо подходят для исследования и аэрофотосъёмки больших площадей, наблюдения за протяжёнными участками местности, проведения различных измерений на больших высотах и сопровождения наземного и водного транспорта (Рисунок 10) [6].

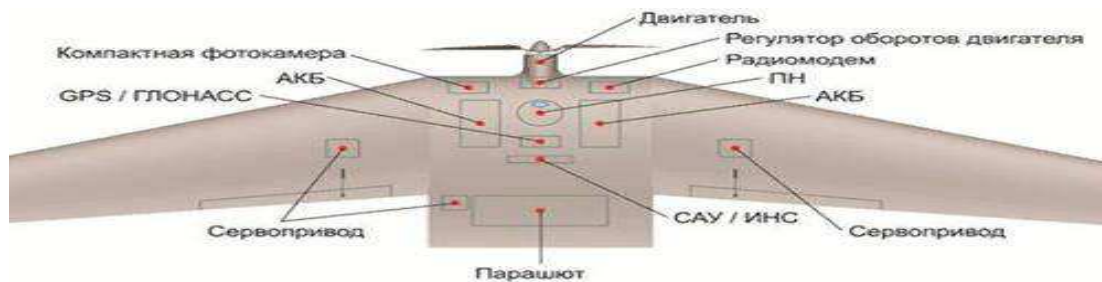


Рисунок 10 – Беспилотный летательный аппарат [8]

Ключевые особенности БПЛА самолётного типа — большая высота, дальность и продолжительность полёта. Как правило, такие аппараты действуют по заранее заданной программе: оператору достаточно указать маршрут, определить необходимые полётные параметры и настроить необходимое оборудование — камеры, зонды или датчики. После запуска БПЛА приступит к выполнению задачи и вернётся на указанную точку самостоятельно.

Винтовые беспилотники пригодятся при более тонкой работе, нежели самолётные аппараты. Компактные размеры, высокая маневренность и способность зависать в воздухе позволяет с помощью мультикоптеров исследовать сложные крупноразмерные конструкции, изрезанные ландшафты и даже тесные пространства пещер, ущелий и промышленных сооружений [6].

Также винтовым беспилотникам с камерой доступно более высокое качество снимков и видеозаписей. Управляя коптером, вы имеете возможность не торопясь выбрать наиболее подходящий ракурс или заснять требуемый участок в медленном темпе. Специальные подвесы для камер обеспечивают неизменность положения камеры и гашение вибраций.

Управление мультикоптером производится, как правило, напрямую с пульта, так как зона действия таких аппаратов сравнительно невелика. Во время полёта роторные беспилотники тратят больше энергии, чем самолётные, из-за чего длительность работы коптера без подзарядки редко превышает 1 час.

Для взлёта и посадки квадрокоптеру достаточно небольшого свободного участка земли, поэтому на Западе эти приборы востребованы службами городской доставки. Кроме того, квадрокоптер может пройти по узкому вертикальному каналу, например, выполнить внутренний осмотр дымовой трубы. Благодаря этому беспилотники с камерой довольно часто используются для нужд технических служб при диагностике труднодоступных конструкций, а также службами спасения для поисковых и разведочных работ в чрезвычайных ситуациях [29].

## 1.2 Электронные геодезические приборы

### 1.2.1 Электронный тахеометр

Как и многие геодезическое оборудование, данный прибор в последние годы активно совершенствовался. В результате он стал не просто инструментом, совмещающим в себе функции дальномера и теодолита, а мощным геодезическим прибором, незаменимым во многих случаях [7].

Наиболее функциональной разновидностью геодезического оборудования, включающей в себя огромное число технологичных опций, является электронный тахеометр, а от количества этих опций и дополнительных функций зависит цена тахеометра. Такой геодезический инструмент способен не только измерять расстояния и углы, но и обрабатывать данные прямо в процессе полевых работ. Кроме того, с его помощью решаются многие прикладные геодезические задачи. Электронный тахеометр, который известен как самое «интеллектуальное» геодезическое оборудование, имеет внутреннюю память, куда могут сохраняться все полученные в результате измерений данные.

Расстояния прибором измеряются из расчета того времени, за которое световой луч от геодезического инструмента доходит до отражателя и обратно. От технических особенностей прибора зависит возможная измеряемая дальность. Так, приборы с отражательным дальномером при одной установленной призме могут измерять расстояния до 5 км, при нескольких — дальше. Безотражательные дальномеры работают в диапазоне до 1,5 км. Кроме того, на данную характеристику геодезического прибора влияет воздействие внешних факторов окружающей среды: влажность, температура, давление и пр. Наибольшая точность измерений будет достигнута в безветренную пасмурную погоду, в месте, защищенном от вибрации работающих механизмов [4].

Электронные тахеометры безотражательного вида не требуют дополнительного оснащения при наблюдениях и способны измерять расстояния до любых отдаленных поверхностей. Однако такие измерения геодезическим прибором имеют, как правило, большую погрешность, чем произведенные с помощью дальномеров с отражателями. Кроме того, в случае съемки сквозь листву деревьев и ветки, бывает сложности с однозначным определением, от чего именно отразился луч.

Основной частью инструмента является корпус, на котором находятся все важные элементы и блоки геодезического прибора, поэтому к его геометрии предъявляются некоторые требования.

- Плоскость основания корпуса должна быть перпендикулярна плоскостям колонок, которые, в свою очередь, должны быть параллельны друг другу.
- Параллельность так называемых посадочных мест под ось зрительной трубы. Их расположение должно быть строго на одном уровне над корпусом прибора [7].

Исходя из того, что корпуса инструментов на заводе отливаются по формам, которые имеют пределы допуска, на правой колонке корпуса посадочное место под ось трубы делают подвижным с возможностью юстировки колонок (Рисунок 11).

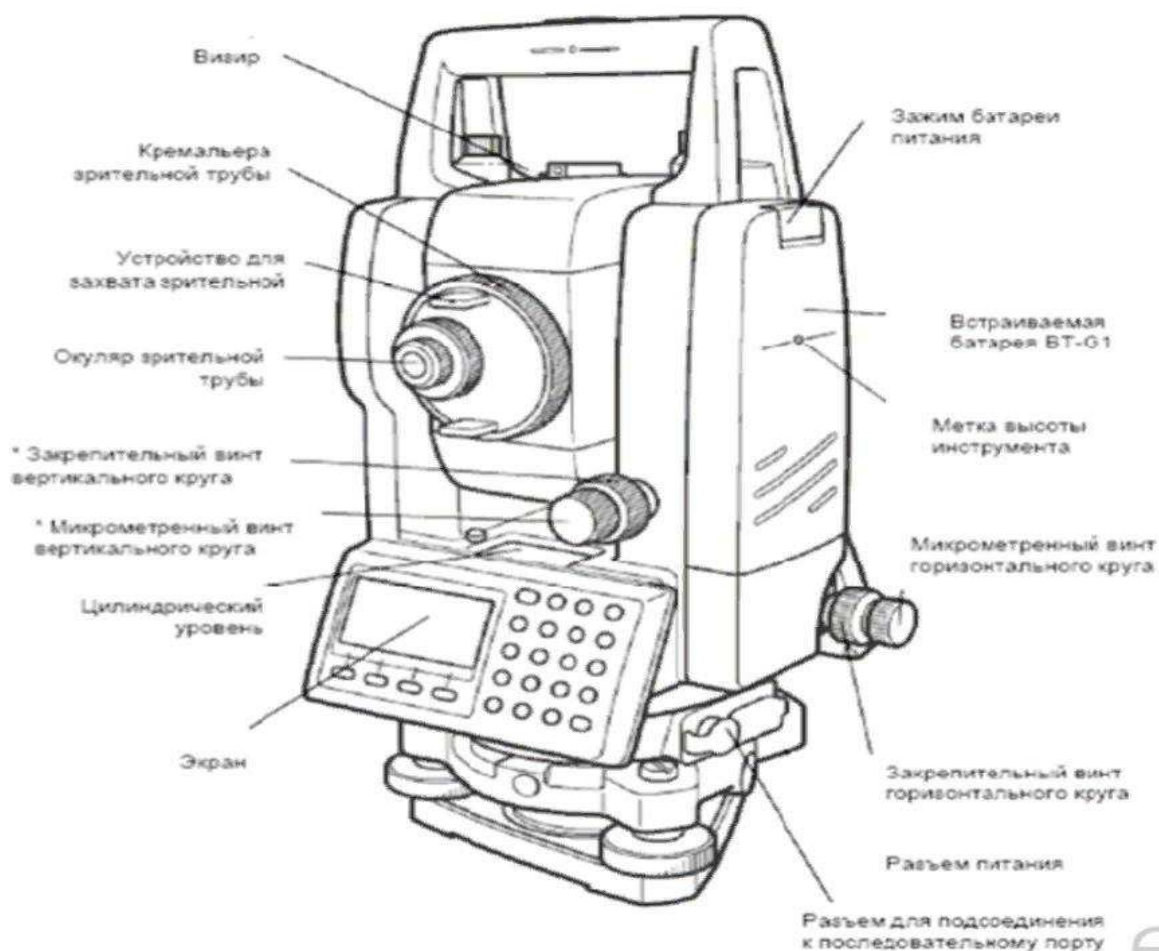


Рисунок 11 - Электронный тахеометр [9]

Важной частью электронного тахеометра является компенсатор, выполняющий функции уровня (электронного), который также монтируется на корпусе. Если у компенсатора одна ось, то его устанавливают прямо параллельно зрительной трубе прибора. Для юстировки наклона двухосевого компенсатора каждый завод-изготовитель использует различные методы. Sokkia, например, применяет упорные стопоры при юстировке [6].

Кроме основных внешних частей инструмента (зрительной трубы, компенсатора и пр.), располагающихся на корпусе, важным элементом, встроенным внутрь геодезического оборудования, является процессор. Именно в него попадают электросигналы о значении измеренных углов (вертикальных и горизонтальных), а также о результатах измерения расстояния (наклонной дальности). Процессор электронного тахеометра обрабатывает информационные сигналы и выполняет на их уровне ряд математических действий: вычисляет превышения, приращения, приводит к горизонту наклонные линии. Кроме того, процессор прибора считает высоты неприступных точек и линий, точечные

отклонения от створа. Все значения измерений выводятся на дисплей, который так же, как и другие функциональные части геодезического прибора, монтируется на корпусе. Кроме того, в зависимости от модели инструмента, его процессор может решать различные прикладные задачи [5].

Процессор прибора имеет память, которая может хранить каталог координат. Наличие необходимых координат позволяет получить обратную засечку или позиционироваться на любой из известных точек местности, просто выбрав нужный пункт из каталога. Кроме того, такие геодезические приборы позволяют осуществлять разбивку (выносить в натуру координаты), снимать в координатах и решать многие геодезические задачи.

Тахеометры максимально защищены от воздействия внешних условий, что соответствует международному стандарту IEC 529, имеют двухосевые компенсаторы, обеспечивают быстрое производство измерений, а также в них учитываются поправки за колебание температур и давления, кривизна земной поверхности, рефракция, редукция результатов измерений на плоскость. Тахеометр TOPCON GPT-700i имеет встроенную цифровую фотокамеру. Отснятые фотографии могут быть включены в данные измерений, благодаря чему рабочая область съемки «оживает». С дополнительным ПО возможно создать стереоскопическое изображение рабочего объекта.

## **1.2.2 Электронные теодолиты**

Электронные теодолиты - это геодезические приборы, предназначенные для измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности. Теодолитом можно измерить и расстояния при помощи дальномерных штрихов сетки нитей или светодальномера, установив его вместо ручки и соединив специальным кабелем с прибором. Основное достоинство электронных теодолитов - это простота и точность снятия отсчётов с дисплея, вероятность ошибки при этом максимально мала [7]. Теодолит снабжён дополнительным коммуникационным портом для подключения внешних накопителей. Как правило, надёжные электронные теодолиты снабжены компенсатором вертикального круга и производят считывание горизонтального круга сразу по двум сторонам. Влияние коллимационной ошибки и места нуля в таких теодолитах учитывается. Некоторые модели теодолитов оснащаются лазерным целеуказателем для выполнения разбивочных работ и проверки вертикальности сооружений [7].

Современные теодолиты обеспечивают измерения углов горизонтальных и вертикальных не только при геодезических работах, но и в топографической съемке местности, маркшейдерских и горных работах в шахтах, туннелях и пр., работах по строительству, азимутальных определениях, других задачах, связанных с необходимостью точных измерений и выносом проектов в натуру (Рисунок 12).

В основе конструкции теодолита (в частности, оптического, как наиболее традиционного варианта), обеспечивающей его работу, лежат горизонтальный и вертикальный круги (лимбы) с градуировкой в градусах и минутах, система

оптических (для наведения на цель и снятия значений измерений) и механических (для установки, поворотов и фиксации лимбов и оптики) приспособлений. В общем, принцип состоит в наведении зрительной трубы на цель, фиксации показаний горизонтального и вертикального лимбов, проекцию значений которых через систему призм и зеркал можно видеть с помощью шкалового микроскопа [7].

Одно из наиболее весомых преимуществ электронных теодолитов – это то, что вероятность ошибки оператора практически исключается, поскольку все данные фиксируются на дисплее геодезического прибора.



Рисунок 12 - Электронный теодолит [9]

Такие приборы снабжены запоминающими устройствами и встроенными вычислительными средствами, за счет которых происходит регистрация и сохранение информации для дальнейшей ее обработки на ПК. Бывают приборы и с встроенными вычислительными системами, благодаря чему обработка результатов происходит более эффективно. Еще одна приятная возможность – это интеллектуализация процесса измерений, которая позволяет работать с прибором даже не очень опытному пользователю.

Что касается точности измерений, то по этому принципу теодолиты делятся на технические, точные и высокоточные геодезические приборы [7]. Высокоточный электронный теодолит используется для решения специальных инженерных задач при выполнении работ высокой точности. Сюда относятся наблюдения за деформацией земной поверхности и сооружений, выверка установки прецизионного оборудования и др.

### 1.2.3 Электронные нивелиры

Нивелир — геодезический инструмент для нивелирования, то есть определения разности высот между несколькими большими и маленькими клетками земной поверхности относительно условного уровня т.е. определение превышения.

Принцип действия современных нивелиров основан на регистрации показаний (отсчётов) инварных реек, установленных на разных высотах, разница показаний соответствует превышению между точками. Изменились элементы этого устройства, с развитием технологий их стали изготавливать с определённым оснащением - зрительная труба и высокоточный уровень, что существенно повысило точность измерений [5].

И только с появлением электронных устройств (цифровых нивелиров) показания стали точны и совершенны. Все современные приборы, в зависимости от принципа их работы подразделяются на три типа — оптические, цифровые (или электронные) и лазерные, в зависимости от точности замеров — на точные приборы и технические, а по конструктивному принципу нивелир существует как стационарный, так и ротационный.

Устройства, называемые оптическими нивелирами, представляют собой геодезические приборы, оснащённые для определения уровней превышения геометрическим способом, рейкой, штативом, нивелирными рейками, круглым уровнем, автоматическим компенсатором и триггером. Автоматический компенсатор гасит воздействия (незначительные) от смещения, вибраций и атмосферных негативных явлений (второе название – демпфер, он производится в виде воздушных и магнитных устройств). Функция демпфера заключается в гашении колебаний, для стабилизации нивелира и поддержания уровня замеров, в воздушных устройствах это производится с помощью подвешенного груза, а в магнитных – с учётом образованного магнитного поля [30].

Устройство цифровых (электронных) нивелиров значительно сложнее, хотя принцип работы остаётся неизменным, однако, благодаря применению новых технологий, намного расширены функциональные возможности, и повышена точность показаний.

Особенностью электронного нивелира является его многофункциональность и автоматический отсчёт по штрих-кодовой специальной рейке. Достигается это тем, что этот геодезический цифровой прибор оснащён запоминающим устройством и встроенным программным обеспечением для обработки всех, полученных при съёмке, данных. Многократное повторение (снятие показаний) отсчётов, электронная автоматическая обработка, простота прибора в эксплуатации делают ошибки исполнителя невозможными, и значительно увеличивают скорость процесса и точность конечных результатов.

Использование цифрового нивелира позволяет значительно повысить производительность труда. Измерения выполняются менее чем за 3 секунды, а вычисление превышения происходит мгновенно. Цифровой метод измерений



исключает столь частые в процессе работ ошибки считывания и интерпретации отсчетов, тем самым уменьшая вероятность дорогостоящих переделок и повторных измерений. Простой пользовательский интерфейс не требует от пользователя особых навыков и дополнительного обучения.

Считывание отсчетов по рейке осуществляется цифровым способом, что устраняет вероятность неверной интерпретации результатов оператором. Специальная система контроля положения визирной оси защищает пользователя от ошибочных измерений, если прибор вышел из рабочего положения. Например, если штатив был смещен, нивелир не позволит взять неверный отсчет по рейке [6].

Цифровые нивелиры обеспечивают возможность работы в условиях плохой освещенности, например, в туннелях, в помещениях и даже в темное время суток при помощи вспышки. С цифровыми нивелирами измерения можно проводить в течение всего рабочего дня без ощущения усталости глаз благодаря четкому и контрастному изображению на дисплее прибора.

Нет необходимости вести полевые журналы измерений, все данные записываются в память прибора. Последующая обработка результатов (уравнивание и создание отсчетов) выполняется быстрее и удобнее, т.к. данные на компьютер передаются по USB кабелю в различных, удобных для последующего использования форматах.

### **1.3 Лазерный сканер**

Работа сканера заключается в том, что он на высокой скорости сканирует поверхность, определяет ее характеристики, преобразует их в цифровой вид в трехмерной системе координат. Это устройство совсем недавно начали использовать в геодезии, и лазерные системы сканирования отлично подошли для этого вида работ [5].

Перед началом работы задается область сканирования. Это угол поворота зеркала, в пределах которого с большой скоростью распространяется лазерный луч. Область сканирования можно задавать до  $360^\circ$  по горизонтали (то есть полный круг) и до  $270^\circ$  в вертикальном направлении. Таким образом, можно производить геодезическую съемку практически всех точек вокруг лазерного сканера. Это позволяет обойтись минимальным количеством приборов.

Во время работы для каждой отсканированной точки определяются три пространственные координаты, которые записываются в виде числового массива. Кроме того, для каждой точки определяется ее цвет.

Главные преимущества лазерной сканирующей системы:

- высокая точность измерений,
- возможность создания различных чертежей, в частности, чертежей сечений,
- измерения проводятся с высокой скоростью
- обработка данных происходит практически мгновенно, что немаловажно для работы в полевых условиях,

- есть возможность сравнивать полученную информацию с проектной моделью, что облегчает контроль качества работы,
- по результатам съемки можно составлять топографические планы,
- возможность геодезической съемки труднодоступных и опасных объектов,
- возможность автоматического сравнения результатов сканирования с предыдущими для определения величины деформации [6].

Принцип работы прибора основан на выполнении измерений дальности до объекта съемки, с помощью лазерного безотражательного дальномера, а также и определении горизонтального и вертикального углов, для каждой точки интересующего нас объекта. Измерения производятся с высокой плотностью и точностью, что впоследствии позволяет создать трехмерную математическую модель объекта съемки. Процесс выполнения съемки автоматизирован.

Преимущества данной технологии перед традиционными методами очевидны. Использование систем лазерного сканирования значительно повышает производительность, сокращаются затраты времени на полевые работы и камеральную обработку. Также появляется возможность бесконтактной съемки объектов, что особенно важно на объектах с повышенной опасностью.

Принцип действия систем сканирования состоит в безотражательном измерении расстояния до цели, при помощи лазера, и значения угла, определяющего направление распространения лазера. В результате получается точка с известными координатами. Поле зрения наземного лазерного сканера составляет от 40x40 до 180x360. Точность регистрации поверхности составляет от нескольких миллиметров до 5 сантиметров, в зависимости от расстояния, отражающей способности поверхности и разрешения. Такое геодезическое оборудование как лазерный сканер имеет дальность действия от 1 до 2500 метров, в зависимости от особенностей конкретного прибора [5].

Комплект оборудования состоит из собственно лазерного сканера, портативного компьютера со специальным программным обеспечением, аккумуляторов и зарядного устройства. В последнее время на лазерных сканерах все чаще встречается встроенная камера высокого разрешения, позволяющая одновременно с облаком точек получать реальные изображения поверхности. Системы лазерного сканирования, устанавливаемые на автомобилях (так называемые, системы мобильного сканирования) могут дополнительно комплектоваться спутниковыми приемниками и специальными датчиками колес (одометрами).

Процесс работы на станции предельно прост. Через персональный компьютер или (на некоторых моделях) через контроллер задается необходимое поле сканирования, плотность сканирования (разрешение) и запускается сам процесс съемки.

Получаемое "облако точек" выдается на монитор, или экран контроллера, непосредственно в процессе измерения в реальном времени, по мере следования лазерного луча по объекту. Данный массив точек можно сразу же просматривать,

вращать и выполнять необходимые измерения. Для удобства визуализации по желанию пользователя изображение может окрашиваться в цвета, показывающие интенсивность лазера, удаление цели от прибора, или в реальный цвет [29].

Эффективность применения лазерного сканирования наиболее ярко проявляется в том случае, когда съемка объекта необходима с высокой детализацией и точностью.

## **2 Методика работы**

### **2.1 Полигонометрия**

#### **2.1.1 Общие сведения о полигонометрии**

Полигонометрия – проложение на местности ломаных линий, называемых ходами, с измерением всех углов поворота и длин линий [14].

Полигонометрической сетью называют систему полигонометрических ходов, образующих в пересечении одну или несколько узловых точек. Отдельный ход между двумя узловыми или между узловой и исходной точками называют звеном. Свободная сеть полигонометрии опирается только на исходный пункт и дирекционный угол исходного направления. Если сеть имеет большое число исходных данных, то ее называют несвободной.

По способу измерения длин линий полигонометрию различают:

- непосредственную;
- светодальномерную;
- параллактическую [10].

Возможность применения различных способов измерения длин, а также хорошая приспособляемость к условиям местности делают полигонометрию весьма гибким методом построения и сгущения опорных сетей. Достоинства полигонометрии при работах на закрытой местности определяются следующими факторами:

- отсутствием необходимости в дорогостоящих высоких сигналах;
- возможностью располагать пункты полигонометрии в непосредственной близости от объектов съемки, чем пункты, определяемые аналогичным путем, так как с каждого пункта полигонометрического хода достаточно иметь видимость по двум направлениям на смежные пункты, тогда как с пункта триангуляции должна быть видимость не меньше, чем на три других пункта;
- возможность хорошо приспособляться к местности, используя для прокладки ходов улицы населенных пунктов, просеки, берега рек и др.

К недостаткам полигонометрии следует отнести большой объем линейных измерений, а также то, что отдельный полигонометрический ход обеспечивает опорными пунктами только узкую полосу местности.

#### **2.1.2 Полевые работы**

Перед тем как приступить к измерениям, необходимо было привезти прибор в рабочее положение: отцентрировать и отгоризонтировать (произвести нивелировку) [13].

Для установки штатива раздвигали ножки так, чтобы он был достаточно устойчив. Размещали штатив непосредственно над точкой. Хорошо вдавливали

ножки штатива в землю. Выставляли горизонтально «на глаз» верхнюю плоскость штатива. Устанавливали прибор на штатив.

Для центрирования инструмента с помощью оптического отвеса:

– Наблюдая в окуляр оптического отвеса, надо совместить изображение точки центра станции с центром сетки нитей. Для этого, надо вращать подъемные винты до тех пор, пока центральная марка сетки нитей не оказалась точно над изображением точки станции (Рисунок 13);

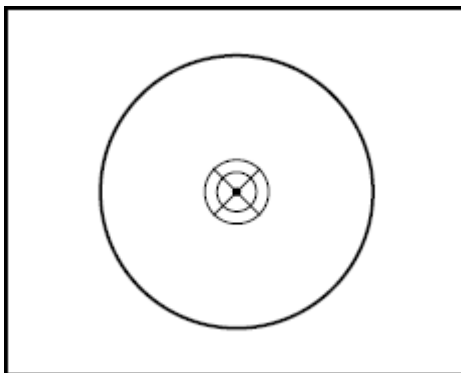


Рисунок 13 – Совмещение сетки нитей оптического отвеса с центром пункта [9]

– Далее следует ослабить зажимные винты на ножках штатива и настроить длину ножек, пока воздушный пузырек не оказался в центре круглого уровня;

– Закрепить винты на ножках штатива;

– Использовать цилиндрический уровень для установки инструмента по уровню;

– Проверить, что изображение центра станции все еще находилось в центре марки визирных нитей;

– Если точка станции уходила из центра, то делается следующее: если точка станции незначительно уходила из центра, ослабляется становой винт штатива и затем отцентрировывается инструмент на штативе.

– Использовать цилиндрический уровень, чтобы сделать вертикальные оси инструмента абсолютно вертикальными. Для нивелирования прибора использовали регулируемое по уровню основание [14].

Для нивелировки инструмента:

– Ослабляется закрепительный винт горизонтального круга;

– Поворачивается инструмент так, чтобы ось цилиндрического уровня стала параллельна двум подъемным винтам В и С (Рисунок 14);

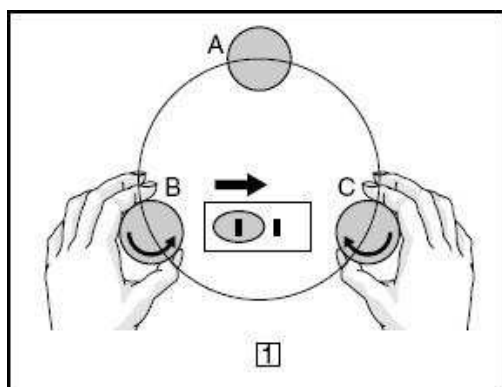


Рисунок 14– Перемещение пузырька в нуль-пункт, используя подъемные винты В и С [9]

– Используются подъемные винты В и С для перемещения пузырька в нуль пункт;

– Перемещается пузырек в нуль пункт, вращая подъемный винт А (Рисунок 15) [15].

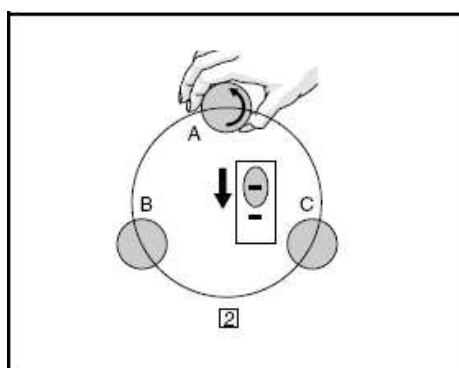


Рисунок 15 – Перемещение пузырька в нуль-пункт, используя подъемный винт А [9]

Аналогичным способом производится центрирование и горизонтирование призмных отражателей.

После включения прибора и инициализации вертикального круга, создается проект для записи данных. Для этого по клавише MENU входили в главное меню и затем в меню проектов, выбрав [Проекты] и нажав [ENT]. В появившемся окне вводится название нового проекта (Рисунок 16).

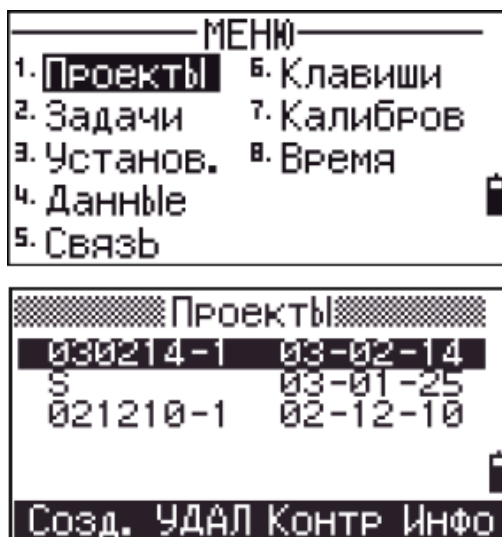


Рисунок 16 – Создание нового проекта [9]

Объявление станции и ввод ее параметров. Наиболее простой способ объявления станции – это станция на известном пункте. При этом выполняются следующие действия:

- Нажимается клавиша для входа в меню установки прибора на станции. Далее с помощью клавиш стрелок устанавливается курсор на поле «Известная» и нажимали клавишу [ENT] (Рисунок 17);

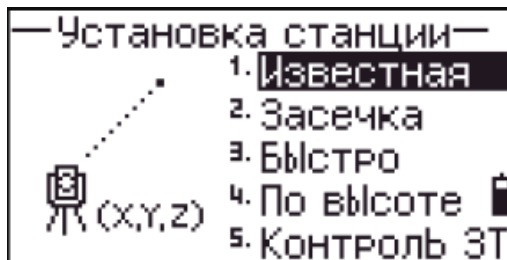


Рисунок 17– Установка известной станции [9]

- В появившемся окне «Ввод станции» вводится имя станции и высота прибора (Рисунок 18);



Рисунок 18 – Ввод имя станции [9]

- Далее выбирается способ ориентирования прибора на точку с известными координатами – «По XYZ» (Рисунок 19) [12].

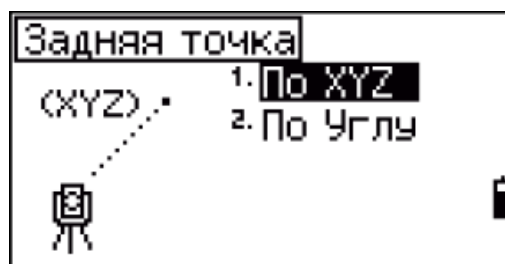


Рисунок 19– Выбор способа ориентирования [9]

Измерения производились по трехштативной системе. Сущность трехштативной системы состоит в том, что на каждом пункте полигонометрического хода треножник или трегер на штативе центрируется и закрепляется всего один раз, а на него устанавливается попеременно передняя марка, теодолит и задняя марка [14].

Перед каждым измерением необходимо выставить на лимбе горизонтального круга при наведении на заднюю точку отсчет  $0^{\circ}00'00''$ . Находясь в окне измерений, надо навестись на точку и измерить расстояние; далее вводится информация об определяемой точке (название точки – ST, высота отражателя – HT, код точки – CD) (Рисунок 20). После этого производится измерение на следующей станции.

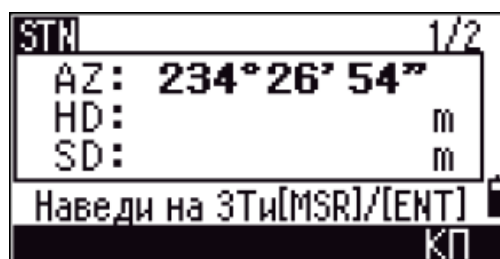


Рисунок 20– Измерение на «заднюю точку» [9]

### 2.1.3 Камеральные работы

После проведения полевых работ производится импорт файлов измерений, полученных с тахеометра в САД систему. Данная система используется для автоматизации камеральной обработки данных топографо-геодезических изысканий; формирования отчетных ведомостей по результатам уравнивания геодезических построений; создания отчетной схемы планово-высотного обоснования и экспорта данных в текстовые форматы [28].

Процедуру передачи данных производили соединив тахеометр и компьютер интерфейсным кабелем. В окне «Описание подключения» вводится название.

Включив тахеометр, в главном меню включается передача данных на компьютер (Рисунок 21).



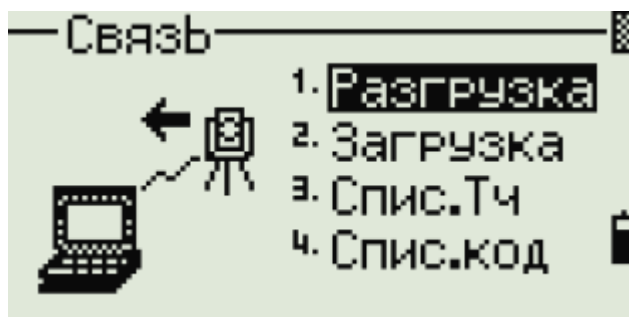


Рисунок 21 – Передача данных на компьютер [9]

Предварительная обработка измерений включает:

- расчет направлений, горизонтальных проложений и превышений на основе средних значений отсчетов измерений, контроль соблюдения инструктивных допусков, установленных для соответствующих классов построений;
- вычисление вертикальных углов и превышений;
- учет поправок в введенные измерения;
- редуцирование линий на уровень моря;
- редуцирование линий и направлений на эллипсоид;
- формирование редуцированных значений длин, направлений и превышений, подлежащих уравниванию, расчет предварительных координат пунктов, распознавание избыточных измерений и формирование топологии сети обоснования, выделение теодолитных и нивелирных ходов [13].

## 2.2 Нивелирование

### 2.2.1 Общие сведения о нивелировании

Нивелирование – совокупность измерений на местности с целью определения превышений точек местности с последующим вычислением высот этих точек относительно исходной поверхности [15].

За исходную поверхность принят уровень морей и океанов в спокойном состоянии; в нашей стране за исходную поверхность принят уровень Балтийского моря в спокойном состоянии.

Нивелирование выполняют с помощью специальных геодезических приборов – нивелиров, обеспечивающих горизонтальное положение линии визирования в процессе измерений, и нивелирных реек. Нивелир представляет собой сочетание зрительной трубы с цилиндрическим уровнем либо оптическим компенсатором, которые служат для приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение. Превышение между точками определяют по отчетам на рейках, отвесно устанавливаемых на этих точках.

Нивелирные сети разделяют на государственную сеть, сети местного значения и съемочную сеть [15].

Государственная сеть является главной основой топографических съемок всех масштабов и геодезических измерений, выполняемых для удовлетворения

потребностей народного хозяйства. Высоты пунктов государственной нивелирной сети определяются геометрическим нивелированием. По точности и назначению государственная нивелирная сеть подразделяется на нивелирные сети I, II, III и IV классов.

Нивелирные сети I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории государства, а также используются в научно-исследовательских целях.

Нивелирование III и IV классов производится с целью сгущения сети высотного обоснования для топографической съемки и разного рода инженерных работ.

Нивелирная сеть местного значения является высотным обоснованием топографических съемок масштабов 1:5000-1:500 и инженерно-геодезических работ.

Съемочная сеть служит непосредственным высотным обоснованием топографических съемок всех масштабов и других инженерно-геодезических работ. Такая сеть создается путем проложения ходов технического нивелирования.

Линии нивелирования всех классов закрепляются на местности постоянными знаками не реже, чем через 5-7 км хода. На всех линиях нивелирования I и II классов через 50-60 км на узловых точках и вблизи водомерных постов закладывают фундаментальные реперы, а в 50-150 м от них реперы-спутники [16].

Нивелирные сети IV класса выполняют в одном направлении между пунктами, высоты которых определены нивелированием II и III классов. Нормальная длина визирного луча принимается за 100 м. Расстояние от нивелира до реек измеряют шагами.

### **2.2.2 Полевые работы**

Нивелирование выполняется из середины с применением двух реек, разность плеч должно быть не более 5 м. Визирный луч должен проходить на высоте не менее 0,2 м от уровня земли (Рисунок 22) [17].

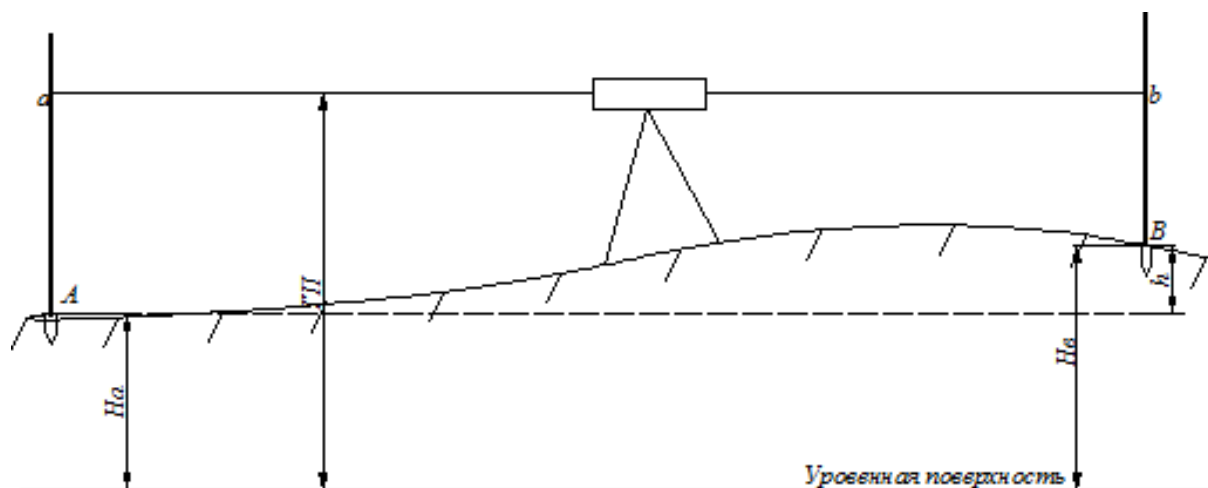


Рисунок 22 – Схема производства геометрического нивелирования [9]

Перед полевыми работами проверяются:

- Условие перпендикулярности оси установочных уровней к вертикальной оси инструмента;
- Условие перпендикулярности горизонтальной нити сетки к вертикальной оси инструмента;
- Плавность хода подъемных винтов и вращения трубы нивелира вокруг вертикальной оси;
- Определяется угол  $i$  между визирной осью трубы и осью цилиндрического уровня, качество и цену деления цилиндрического уровня, ошибку совмещения изображений концов пузырька контактного уровня и цену деления шкалы элевационного винта.

Порядок работы с нивелиром на станции:

- Установка нивелира на станцию и подготовка его в рабочее состояние;
- Наводка трубы на заднюю точку и взятие отсчетарейки;
- Наводка трубы на переднюю точку и взятие отсчета;
- Изменение горизонта прибора, производство аналогичных измерений [18].

### 2.2.3 Камеральные работы

Обработка журналов нивелирования начинается с проверки всех записей и вычислений, выполненных в поле. С целью выявления возможных погрешностей в вычислениях на каждой странице журнала выполняется постраничный контроль. Он заключается в подсчете сумм отсчетов на связующие точки по задней и передней рейкам, а также сумм превышений по черной и красной сторонам реек и средних превышений на станциях.

Расхождения в превышениях на каждой станции, полученные из отсчетов по черной и красной сторонам рейки не должны превышать 10 мм [15].

### 3 Физико-географическое положение города Красноярск

#### 3.1 Физико-географическое положение Красноярского края

Красноярский край расположен между  $51^{\circ}$  и  $81^{\circ}$  с.ш. (вместе с островами) в бассейне реки Енисей (Рисунок 23).

Мыс Челюскин ( $77^{\circ}41'$  с.ш.) - это самая северная точка Красноярского края, если рассматривать материк. Он считается крайней оконечностью Азии.



Рисунок 23 - Физическая карта Красноярского края [19]

Протяженность Красноярского края с севера на юг составляет 26°. Он протянулся от берегов Северного Ледовитого океана до хребтов Восточного и Западного Саянов. Рассматривая его протяженность с запада на восток, можно увидеть, что протяженность края неодинакова: на юге сужается до 450 км, а вдоль Транссибирской магистрали - равна 650 км.

В состав Красноярского края входит весь Таймырский полуостров и восточная часть Гыданского полуострова. Так же к Красноярскому краю относятся острова Норденшельда, Олений, Сибирякова, Вилькицкого, Уединения, а также архипелаг Северная Земля.

Красноярский край отличается от других краев, областей и республик тем, что на его территории находится таким количеством полезных ископаемых, какое в нашей стране не встречается более ни в одном регионе и которое служит естественной базой формирования его многоотраслевой экономики.

Северную часть исследуемого края омывают моря Северного Ледовитого океана, такие как Карское море и море Лаптевых. На юге же края находятся горы Западного и Восточного Саянов, Кузнецкий Алатау и Абаканский хребет. Они служат границей края на юге. На востоке границей края является Среднесибирское плоскогорье, где сближаются в своем верхнем течении реки Нижняя и Подкаменная Тунгуски, а на западе - граница идет по водоразделу рек Оби и Енисея [19].

На западе исследуемый район граничит с Тюменской, Кемеровской и Томской областями, а также с Алтайским краем. На востоке - с Якутией и Иркутской областью, а на юге - с республикой Тыва.

Рельеф края представлен Вилюйским плато, Енисейским кряжем, Западными Саянами, Среднесибирским плоскогорьем.

Вилюйское плато - участок размерами 400x200 км. Оно находится в районе верхнего течения реки Вилуей, часть Среднесибирского плоскогорья. Это плато расположено на границе Якутии, Красноярского края и Иркутской области. Средняя высота плато равна 700-900 м, а наибольшая высота равна 962 м. это Плато в геологическом приближении сложено известняками, траппами и доломитами. Здесь обнаружили участки с вечной мерзлотой, толщина которой составляет 1,5 км [20].

Следующая форма рельефа - это горная система под названием Западный Саян. Она расположена на юге Сибири и имеет длину 650 км. Эта горная система протянулась с запада на восток и имеет характер сужаться от 200 км до 80 км.

Западные Саяны имеют разнообразный рельеф, который связан с высотой над уровнем моря. Высокогорный альпийский рельеф находится в верхнем ярусе Западных Саян.

Здесь есть обширные горные плато - древние поверхности выравнивания, остатки древнего пенеplена. Здесь речные долины часто оказываются заболоченными и в результате этого слабо покрыты деревьями.

Усинская котловина расположена на высоте 650 м над уровнем моря в долине реки Ус между Куртушибинским и Мирским хребтами. В русле реки Ус есть острова, которые покрыты смешанной древесной растительностью.

Межгорная котловина - Турано-Уюкская - расположена на юге Куртушибинского хребта. А по левому берегу реки Ус располагается плоская степь [21].

На юго-западе Среднесибирского плоскогорья расположился Енисейский кряж. Эта низкогорная возвышенность, которая расположена между реками Кан и Подкаменная Тунгуска. Этот кряж протянулся на 700-750 км, с шириной примерно 200 км. Самая высокая точка этого кряжа - гора Енашиминский Полкан, которая имеет высоту 1104 м. В Енисейский кряж входит 2 области, который отделены друг от друга долиной реки Ангары - это Южно-Енисейский (Ангаро-Канский) кряж и Заангарье.

На территории Восточной Сибири, в пределах Сибирской платформы располагается Среднесибирское плоскогорье. Оно охватывает Якутию, Красноярский край и Иркутскую область.

Среднесибирское плоскогорье состоит из кряжей и широких плато. Самая высокая точка плоскогорья - гора Камень, высота которой 1701 м над уровнем моря. Она расположена на среднегорье Путорана, которое сложено вулканическими траппами и туфами [22].

Здесь также четко выделяется Средне-Ангарский кряж, который имеет среднюю высоту от 700-1000 м. Здесь протекают такие реки: Нижняя Тунгуска, Ангара и Вилюй, имеющие абсолютные отметки 400-600м, а иногда характерны невысокие гряды и куполообразные поверхности на месте древних лакколитов. На северо-западе плоскогорья равнины имеют следы ледниковой обработки.

На северо-восточной части располагается Ленно-Вилюйская низменность. В среднем она имеет высоту 100-200 м, а иногда высота может достигать 400 м.

Посмотрев на гидрографическую карту Красноярского края, можно увидеть, что здесь протекает большое количество рек, имеется много озер и водохранилищ. Примерно в пределах исследуемой территории протекает около 20000 рек, которые протекают по горной местности и равнинам, более 10000 озер, а также есть 3 огромных водохранилища. Большинство рек принадлежит к бассейну Северного Ледовитого океана, а именно реки сбрасывают каждый года в Карское море и море Лаптевых примерно 19,5 % общего стока вод России. Речная сеть, которая расположена на территории, относится к бассейнам 6 крупных рек: Енисей, Оби, Лены, Хатанги, Пясины и Таймыры [23].

Красноярский край омывается двумя морями: Карским и морем Лаптевых. Эти моря являются окраинными и принадлежат к бассейну Северного Ледовитого океана. По площади Карское море больше моря Лаптевых. Площадь Карского моря равна 893000 км<sup>2</sup>, а площадь моря 10 Лаптевых – 701000 км<sup>2</sup>. но если рассматривать глубину этих двух морей, то море Лаптевых глубже, чем Карское море. В море Лаптевых глубина может достигать 2980 м. а вот в Карском море - всего 620 м. Здесь образовалось много заливов: Енисейский, Пясинский, Таймырский, Хатангский - это более крупные заливы.

Енисей протянулся на 3487 км. У Енисея есть притоки: Ангара, Абакан, Подкаменная Тунгуска, Нижняя Тунгуска. Также у реки есть истоки: реки Большой Енисей и Малый Енисей. Река Енисей питается талыми снеговыми

водами. Эта река имеет небольшую мутность, в результате того, что он течет по территории, сложенной преимущественно плотными породами, скованной мерзлотой и покрытой лесом. Это касается и притоков Енисея (рис.24) [24].

Ангара - является правым крупным притоком Енисея. Здесь расположены 3 огромные гидроэлектростанции (Иркутская, Братская и Усть-Илимская).

Подкаменная Тунгуска - это река, которая берет свое начало на территории Иркутской области. Течение ее неравномерное. Там, где она течет по долине, там образуются пороги и перекаты. В результате этого, судоходство на этой реке ограничено и начинается примерно в 272 км от устья [25].

Еще одна река - Нижняя Тунгуска, исток которой находится в Верхне-Тунгусской возвышенности. Эта река расположена в 15-20 км от реки Лены. Длина Нижней Тунгуски равна 2690 км. течение у этой реки такое же, как и у Подкаменной Тунгуски. Здесь присутствуют такие пороги, как Вавинский, Учамский и Большой, скорость течения здесь достигает 4-5 м/с.

Что касается озер, то большое количество из расположено на Таймыре. Здесь расположено одно из глубоких озер России и мира. Это озеро - Хантайское. Его глубина равна 520 м. А также здесь расположено крупнейшее озеро Российской Арктики, которое называется Таймыр.

Большое количество озер (около 6500) располагается на Среднесибирском плоскогорье, в северо-западной его части. Здесь большинство озер имеют площадь менее 2 га. На остальной части плоскогорья озер мало [26].

Живописные озера находятся в горах Кузнецкого Алатау, Восточного и Западного Саянов. Это озера: Ойское, Араданское, Майское, Маранкуль. Также присутствуют озера и в Минусинской котловине. В Чулымо-Енисейской котловине находятся озера тектонического происхождения, наиболее крупные: Белое, Учум, Инголь. Воды и грязи некоторых из них издавна используются для лечения различных заболеваний.

### **3.2 Физико-географическое положение города Красноярск**

Красноярск - город в России в Восточной Сибири. Административный центр Красноярского края (второго по площади субъекта России) и городского округа города Красноярск. Самый восточный город - миллионер в России (Рисунок 24).

Центр Восточно-Сибирского экономического района. Город расположен в центре России, на обоих берегах Енисея на стыке Западно-Сибирской равнины, Среднесибирского плоскогорья и Саянских гор, в котловине, образованной самыми северными отрогами Восточного Саяна. Высота над уровнем моря 287 м.

Красноярск является самым крупным городом Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Енисей, на котором стоит Красноярск, делит Сибирь на Западную и Восточную. Так же он делит и сам город. В черту Красноярска вошел последний Саянский хребет. Экономически географы относят Красноярск к Восточной

Сибири - город является центром Восточно-Сибирского экономического района [27].

Красноярск является одним из самых компактных городов-миллионников России. С запада на восток протяженность города составляет около 41 км, с севера на юг - почти 37 км.

Город Красноярск расположен в центре России, на обоих берегах Енисея на стыке Западносибирской равнины, Среднесибирского плоскогорья и Саянских гор, в котловине, образованной самыми северными отрогами Восточного Саяна.

Рельеф края представлен Вилуйским плато, Енисейским кряжем, Западными Саянами, Среднесибирским плоскогорьем. Около 20 тыс. рек несут свои воды по горам, плоскогорьям и равнинам края, более 10 тыс. озер и 3 огромных водохранилища расположены на его территории. Речная сеть края самая крупная в стране и относится к бассейнам 6 крупных рек: Енисея, Оби, Лены, Хатанги, Пясины и Таймыры.



Рисунок 24 - Красноярск на карте России [27]



## **ВЫВОДЫ**

Обеспечение геодезическими данными при проведении топографических работ производилось сложно и отнимало много времени на измерения. Теперь, при быстром развитии науки на замену старым методикам и приборам пришли электронные и лазерные геодезические приборы.

Современные геодезические приборы все более интенсивно используются при выполнении топографических съёмок, межевании земель, инженерных изысканиях и других геодезических работах, а также изучении рельефа территории. Развитие разнообразия геодезических приборов с каждым годом наглядно демонстрирует растущую потребность в информации о пространственном положении различных объектов.

Современные геодезические GPS/ГЛОНАСС приемники при выполнении широкого круга задач, могут заменить собой тахеометр, нивелир, теодолит и другие геодезические приборы. И при этом данное оборудование может использоваться на штативе, металлической вехе, а сам прибор имеет малый вес, компактный и всепогодный.

На выполнение практической работы ушло 4 дня: один день полевых работ, 3 для камеральной обработки. Работа выполнялась GPS Sokkia GRX2, установленной на вехе и полевым контроллером SHC336, для обработки данных использовался компьютер с программой Topocad.

Созданная цифровая модель поверхности оврагов на Караульной горе г. Красноярска, дала возможность построить поперечные и продольные профили участков оврагов.

Общая площадь территории составила 1411,2 м<sup>2</sup>. Превышение вершин над устьями оврагов составляет 13 м. Наибольшая высота откосов оврагов достигает 2 м и 7 м.

Проведённый в работе анализ получения данных, качество обработки результатов наблюдений демонстрирует существенные преимущества современных приборов.

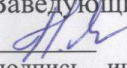
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ключин, Е. Б. Инженерная геодезия : учебник для вузов / Е. Б. Ключин [и др.]. – Москва : Академия, 2004. – 480 с.
2. Федотов, Г. А. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Г. А. Федотов. – Москва : Высшая школа, 2004. – 463 с.
3. В. Ф. Перфилов Геодезия : учебник для вузов / В. Ф. Перфилов, Р. Н. Скогорева, Н. В. Усова. – Москва : Академический проект, 2008. – 350 с.
4. Поклад, Г. Г. Геодезия : учебное пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – Москва : Академический проект, 2008. – 592 с.
5. Дементьев, В. Е. Современная геодезическая техника и ее применение : учебное пособие для вузов / В. Е. Дементьев. – Москва : Академический проспект, 2008. – 591 с.
6. Захаров, А. И. Геодезические приборы : справочник / А. И. Захаров. – Москва : Недра, 1989. – 314 с.
7. Гладышев, С. В. Изучение теодолита : учебно-методическое пособие для студентов / С. В. Гладышев, В. С. Ермаков. – Ленинград : ЛПИ, 1988. – 12 с.
8. Современные геодезические приборы и технологии [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://geo-s.sibstrin.ru/lec/lec14/index.html>
9. Современные геодезические приборы и топографическая съемка [Электронный ресурс] - Режим доступа <https://studfiles.net/preview/5354751/page:15/#20>
10. Левчук, Г. П. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ : учебник для вузов / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – Москва : Недра, 1981. – 438 с.
11. Красовский, Ф. Н. Руководство по высшей геодезии ч. 1 : научное издание / Ф. Н. Красовский, В. В. Данилов. – Москва : ОНТИ, 1938. – 112 с.
12. Красовский, Ф. Н. Руководство по высшей геодезии ч. 2 : научное издание / Ф. Н. Красовский. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 1943. – 103 с.
13. Высшая геодезия / В. Г. Зданович [и др.]. – Москва : Недра, 1970. – 540 с.
14. Асташенков, Г. Г. Теодолитная съёмка : учебное пособие / Г. Г. Асташенков. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2009. – 29 с.
15. Асташенков, Г. Г. Геометрическое нивелирование : учебное пособие / Г. Г. Асташенков. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2009. – 29 с.
16. Обидный, Ю. С. Геодезическая практика : учебное пособие / Ю. С. Обидный, С. А. Медведев. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 13 с.
17. Кулешов, Д. А. Инженерная геодезия для строителей : учебник для вузов / Д. А. Кулешов, Г. Е. Стрельников. – Москва : Недра, 1990. – 256 с.
18. Павлов, Ф. Ф. Сферическая тригонометрия : научное издание / Ф. Ф. Павлов, В. П. Машкевич. – Москва : Угнетехиздат, 1951. – 95 с.
19. Михеева, Е. Е. Водные ресурсы Енисейского региона : научное издание / Е. Е. Михеева, В. Е. Михеев, И. В. Плющ. – Красноярск, 2004. – 250 с.

20. Голицын, Г. С. Природные опасности России / Г. С. Голицын, А. А. Васильев. – Москва : Крук, 2001. – 295 с.
21. Берг, Л. С. Основы климатологии : научное издание / Л. С. Берг. – Ленинград, 1938. – 456 с.
22. Авцын, А. П. Введение в географическую патологию : научное издание / А. П. Авцын. – Москва, 1972. – 327 с.
23. Коротный, Л. М. Реки Красноярского края : научное издание / Л. М. Коротный – Красноярск, 1991. – 155 с.
24. Кобышева, Н. В. Климат России : научное издание / Н. В. Кобышева. - СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 253 с.
25. Городецкий, О. А. Метеорология, методы и технические средства наблюдений : научное издание / О. А. Городецкий, И. И. Гуральник, В. В. Ларин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. – 234 с.
26. Мерков, Б. П. Влияние атмосферных процессов и погоды на организм человека : научное издание / Б. П. Мерков, М. Найшуллер. – Обнинск, 1985. – 154 с.
27. Погода и климат в г. Красноярске [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/29570.html>
28. Подшивалов, В. П. Инженерная геодезия : учебник для вузов / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск : Вышэйшая школа, 2011. – 464 с.
29. Nadolinets, L. Surveying Instruments and Technology / L. Nadolinets, E. Levin, D. Akhmedov. – Florida, 2017. – 253 p.
30. Deumlich, F. Instrumentenkunde der Vermessungstechnik / F. Deumlich. – Berlin, 1988. – 295 s.



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт экологии и географии  
Кафедра географии


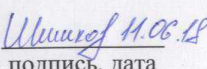
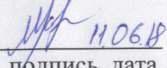
УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 Г. Ю. Ямских  
подпись инициалы, фамилия  
« 11 » 06 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

**Использование современных геодезических приборов при изучении  
оврагов на территории г. Красноярска**

05.03.02 «География»

05.03.02.02 «Физическая география и ландшафтоведение»

Научный руководитель	 подпись, дата	проф., д-р геог. наук должность, ученая степень	<u>Г. Ю. Ямских</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>Р. Б. Шишков</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата		<u>М. И. Кокова</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2018