**2. Проект планово-высотной геодезической основы**

На основе изучения физико-географических условий объекта строительства, гидрогеологической и топографо-геодезической характеристики района, проектом принято следующее инженерное решение по созданию геодезической основы для строительства терминала по перевалке сжиженных углеводородных газов в Азовском районе Ростовской области.

За последние годы резко возрос интерес со стороны отечественных специалистов к проблеме определения местоположения точек земной поверхности методом спутникового позиционирования (Global Positioning Sistem – GPS и Глонасс), который характеризуется высокой производительностью и точностными характеристиками, значительно превосходящими показатели большинства геодезических методов. Однако следует отметить, что большинство сторонящихся и эксплуатируемых объектов на территории России обладают рядом специфических особенностей, которые могут существенно повлиять на точность определения координат и дирекционных углов в системе плоских прямоугольных координат при создании сетей спутниковой аппаратурой. К этим особенностям следует отнести отсутствие в пределах объекта геодезических пунктов одного класса точности, что неизбежно сказывается на величинах погрешностей их взаимного положения; необходимость обеспечения разбивочных работ точными (в первую очередь угловыми) измерениями при создании геодезической разбивочной основы строительства гражданских и промышленных объектов с длинами сторон 150 – 500 м.

Стандартная технология (технология фирм-изготовителей) создания сетей спутниковой аппаратурой предусматривает использование 3 – 4 пунктов в качестве исходных при переводе системы координат из системы WGS-84 в плоскую прямоугольную систему. Кроме этого определяемые пункты должны находиться внутри контура, образованного исходными.

Учитывая, что точность построения геодезической основы строительной площадки (*S* < 1 км2), где предположено построить группу зданий, в соответствие с требованиями СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве» [1] характеризуется следующими величинами средних квадратических погрешностей:

- ;

- ;

- ,

настоящим проектом предусмотрено разбивочную сеть на объекте создавать в два этапа.

На первом этапе для дальнейшего создания геодезической основы, предусмотрено пользуясь методом GPS – определений создать два базиса, ограниченные пунктами «GPS1» - «GPS2» и «GPS3» - «GPS4», исходными пунктами при этом будут служить пункты триангуляции «Зеленков», «Дугино», «Кагальник» рис. [лист 2]. Расположение определяемых пунктов выбрано таким образом, чтобы они находились внутри треугольника, образованного пунктами триангуляции 3 класса.

Необходимость использования метода GPS – определений обосновано тем, что традиционные методы сгущения сети потребовали бы значительных трудовых и материальных затрат, нежели использование спутниковых методов, значительно экономящих время работ и имеющих более высокую точность измерений.

На втором этапе проложением полигонометрического хода 1 разряда между базисными сторонами « GPS1-GPS2 », «GPS3- GPS4» будет создана внешняя геодезическая основа для строительства.

Точки внутренней геодезической основы, необходимые для производства топографической съемки участка строительства в крупном масштабе М 1:500, проектом предусмотрено создавать линейно-угловыми методами с применением электронного тахеометра Trimble М3.

**2.1. GPS – определения**

**2.1.1. Выбор режима съемки и приборов для GPS-определений, их характеристики**

Для обоснования режима GPS-определений в данном проекте принята необходимая точность взаимного положения пунктов геодезической основы. Если принять, что минимальное расстояние между смежными пунктами полигонометрического хода, который в проекте предусмотрено создавать как геодезическую разбивочную основу, равно 120 м, тогда предельная погрешность определения взаимного положения пунктов в этом ходе составит:

,

а СКП взаимного положения будет равна:

.

Из принятых режимов работы при GPS-определениях такую точность может обеспечить только статистическая съемка, точность которой характеризуется следующими величинами [5]:

- в плане ±5 мм + 0,5 мм (на 1 км);

- по высоте ±5 мм + 1 мм (на 1 км).

При этом подразумевается, что на всех пунктах непрерывно отслеживается минимум 4 спутника при использовании геодезической антенны в соответствии с рекомендуемой методикой проведения статистических съемок [5], используя измерения на двух частотах L1 и L2.

В настоящем проекте для определения координат пунктов «GPS1», «GPS2», «GPS3», «GPS4» предусмотрено использовать GPS аппаратуру марки «Trimble 5700», в распоряжении исполнителей должно быть не менее трех комплектов указанной аппаратуры. Основные характеристики «Trimble 5700» приведены ниже.

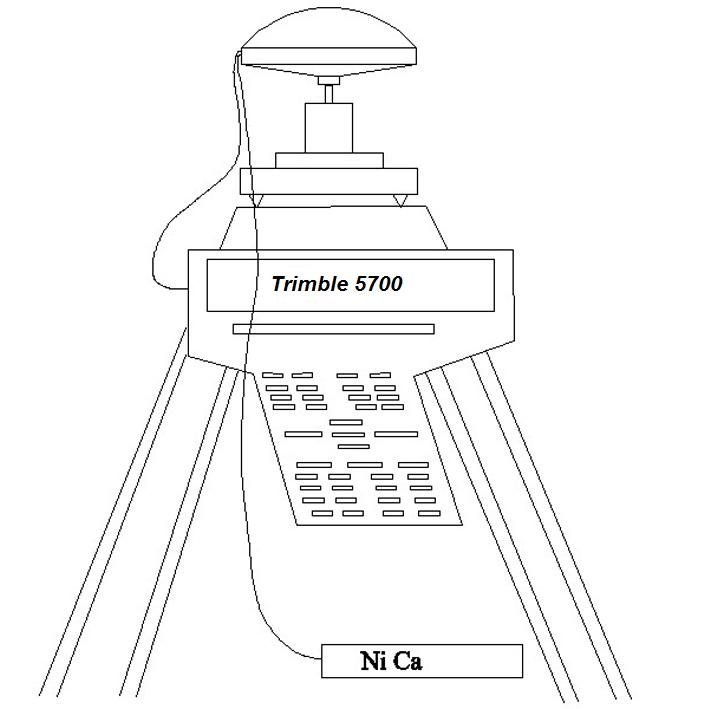


Рис.2.1. Общий вид приемника Trimble

**Общие сведения о «Trimble 5700»**

• Надёжный и лёгкий корпус из магниевого сплава;

• Встроенный УКВ радиомодем (на передвижной приёмник) ;

• Хранение данных на картах формата Compact Flash (объёмом до 128 Мб) индустриального типа (расширенный диапазон рабочих температур и ресурс работы);

• Интегрированный USB (Universal Serial Bus) порт для высокоскоростной передачи данных;

• 10 часов непрерывной работы от двух миниатюрных аккумуляторов;

• Возможность крепления передвижного приёмника на вешке, в рюкзаке и сумке;

• Панель управления позволяющая контролировать состояние GPS приёмника, форматирование карт памяти, удаление файлов эфемерид и сырых измерений. С помощью световых индикаторов Вы можете отслеживать приём сигнала от спутников, приём дифференциальных поправок, запись данных и состояние источников питания;

• Низкое энергопотребление;

• 24 канала L1 C/A код и фаза несущей L1/L2; WAAS/EGNOS;

• Современная технология GPS электроники Maxwell 4;

• Высокоточный коррелятор L1 и L2 измерений псевдодальностей;

• Фазовые измерения на частотах L1 и L2 с очень низким уровнем помех, с точностью < 1 мм в полосе 1 Гц;

• Регистрация значений сигнал-шум на частотах L1 и L2 (dB-Hz) ;

• Проверенная на практике технология Trimble уменьшения влияния эффекта многолучёвости и слежения за спутниками с маленькими значениями высот над горизонтом;

• Программное обеспечение для обработки измерений Trimble Geomatics Office (интерфейс и документация на русском языке) или Trimble Total Control.

***Физические характеристики***

Корпус:

Полностью герметичный из магнитного сплава.

Водонепроницаемость:

Выдерживает погружение в воду на 1 метр (IP6 7).

Ударопрочность:

Выдерживает падение с высоты 1 метр на бетонный пол; переменная вибрация до 40 G.

Вес:

1.4 кг (со встроенными батареями, радио, зарядным устройством, стандартной UHF антенной);

4.0 кг (полный RTK ровер с батареей на 7 часов).

***Электрические характеристики***

Электропитание:

10.5-28 В постоянного тока.

Энергопотребление:

Потребляемая мощность:

< 2.5 Вт (только приёмник) ;

< 3.75 Вт (полный RTK ровер).

Батарея:

> 10 часов непрерывной работы (постобработка);

> 7 часов непрерывной работы (RTK);

с двумя встроенными аккумуляторами.

Вес батареи:

0.1 кг.

Зарядное устройство:

Встроенное, с адаптером питания от сети переменного тока.

Выходное напряжение:

10.5-20 В (Порт 1), 10.5-27.5 В (Порт 3).

***Условия эксплуатации***

Рабочая температура:

-40°С - +65°С.

Температура хранения:

-40°С - +80°С.

Влажность:

Полностью водонепроницаем, прошёл сертификацию на стандарты MIL-STD-810F, FIG. 514.5C-17.

***Обмен и хранение данных***

2 внешних порта питания, 2 внутренних аккумуляторных слота, 3 серийных порта, 1 USB.

Интегрированный USB порт, позволяющий обмениваться данными со скоростью 1 мегабит в секунду, что примерно в 10 раз быстрее, чем самый скоростной серийный порт.

Карты формата Compact Flash для хранения данных, с возможностью их замены. Trimble осуществляет поставку в двух вариантах – 64 и 96 Мб.

Регистрация сырых L1/L2 GPS данных (в режиме “Статика”) приблизительно в течении 2500 часов с интервалом записи через 15 секунд от 6 спутников (96 Мб).

Полностью интегрированный встроенный УКВ радиомодем (опция).

Поддержка GSM сотовых телефонов и CDPD радиомодемов для работы с eRTK и VRS.

eRTK антенна с креплением на телескопическую вешку для работы в кинематике реального времени.

Ввод маркера двойного события.

Интервал определения координат и записи данных – 1 Гц, 2 Гц, 5 Гц и 10 Гц.

Вывод 1 PPS.

Ввод/Вывод по протоколам CMRII, CMR+, RTCM 2.1.

Вывод NMEA.

***Характеристики антенны ZEPHYR***

Размер:

15.2 cм (диаметр) x 5.7 см (максимальная высота).

Вес:

450 грамм.

Рабочая температура:

-40°С - +70°С.

Полностью водонепроницаема.

Прошла сертификацию на защиту от вибрации (стандарты MIL-STD-810F, FIG. 514.5C-17).

Выдерживает падение с высоты 2 метра на бетонный пол (стандарт MIL-STD-810F, FIG. 516.5-I).

Интегрированный низкошумящий усилитель.

Усиление антенны 50 Дб.

Устойчивость фазового центра <1 мм (в плане).

***Характеристики антенны ZEPHYR GEODETIC™***

Размер:

34.3 cм (диаметр) x 7.6 см (максимальная высота).

Вес:

1 кг.

Рабочая температура:

-40°С - +70°С.

Полностью водонепроницаема.

Прошла сертификацию на защиту от вибрации (стандарты MIL-STD-810F, FIG. 514.5C-17).

Выдерживает падение с высоты 2 метра на жёсткую поверхность (стандарт MIL-STD-810F, FIG. 516.5-I).

Интегрированный низкошумящий усилитель.

Технология Trimble Stealth™ Ground Plane для уменьшения влияния эффекта многолучёвости.

Усиление антенны 50 Дб.

Устойчивость фазового центра <1 мм (в плане).

**2.1.2. Методика работы с GPS аппаратурой в режиме «статика»**

Данным дипломным проектом предусмотрено рассмотреть и оценить два метода GPS определений.

Общие указания по выполнению спутниковых определений сводятся к следующему:

* В продолжение приёма необходимо непрерывно наблюдать как базовой, так и подвижной станциями не менее 4 спутников одновременно. Состав спутников в продолжение приёма может меняться.
* При выборе значения интервала регистрации необходимо руководствоваться эксплуатационной документацией используемого типа приёмника с учётом применяемого метода спутниковых определений. Значение интервала регистрации должно быть одинаковым для всех приёмников, используемых в сеансе.
* Высоту антенны необходимо определять на каждом пункте и пикете. При этом следует руководствоваться эксплуатационной документацией комплекта приёмника. Во избежание ошибок, рекомендуется производить измерения в метрической мере и в дюймах.
* При работе со спутниковой аппаратурой необходимо соблюдать следующие правила:
  + Следить за индицируемым на дисплее значением свободного объёма запоминающего устройства приёмника и вовремя принимать меры по передаче накопившейся информации в ЭВМ;
  + Во избежание утраты данных спутниковые определений, по окончании каждого рабочего дня копировать полученные данные на дискету (PC-карту);
  + Всегда отражать в полевом журнале (или его электронном аналоге) ход выполнения работ: время начала и конца приёма, инициализации, потери связи и т. п;
  + Не допускать образования толстого снежного покрова на поверхности антенны приёмника и её обледенения;
  + Беречь антенну от попадания разряда молнии;
  + По окончании рабочего дня упаковывать комплект спутниковой аппаратуры в транспортировочные ящики во избежание механических повреждений или воздействия метеофакторов.
* Состав комплекта аппаратуры и оборудования, необходимого для выполнения полевых работ, зависит от метода спутниковых определений, способов и технологических приёмов выполнения работ и других обстоятельств. В общем случае для полевых работ необходимо  
  следующее:
* Приёмник в составе блоков, содержащих функциональные элементы и принадлежностей, необходимых для приведения его в рабочее состояние (кабелей и др.);
* Укладочная тара для хранения и перемещения приёмника (футляр, рюкзак и т. п.);
* Устройства для установки приёмника на точке (штатив, веха, трегер, адаптеры и т.п.).
* Вспомогательное оборудование:

- трегеры, стойки быстрого развёртывания;

- сменные аккумуляторные батареи;

- осветительные приборы (для работы в тёмное время суток);

- рулетка;

- описание местоположения точек;

- сторожки, колья, гвозди, топор;

- полевой журнал, карандаш, авторучка;

- эксплуатационная документация.

В сеансе для осуществления приёма на каждом пункте необходимо выполнить следующие операции[,](#bookmark0) руководствуясь эксплуатационной документацией применяемого типа приёмника:

* Провести развёртывание аппаратуры, установить приёмник на пункте и определить высоту антенны.
* Подготовить приёмник к работе, как указано в эксплуатационной документации.
* Установить режим регистрации данных наблюдения спутников.
* Пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство:

- значение номера пункта;

- значение высоты антенны

- вспомогательную информацию: время начала и конца приёма, потерь связи и др.

* Провести приём наблюдений спутников в течение времени указанного в рабочей программе полевых работ для применяемого метода спутниковых определений.Выключить режим регистрации данных и выполнить свёртывание аппаратуры.

**2.1.3. Закрепление на местности GPS пунктов, выбор типа центра наружного знака**

Данным проектом предусмотрено пункты GPS-определений закреплять центрами типа 2 г.р. Конструкции центра выбраны в зависимости от климатических и физико-географических условий района.



Рис. 2.2. Центр пункта полигонометрии тип 2 г.р.

На рисунке цифрами обозначены:

1 – бетонный якорь;

2 – металлическая труба с толщиной стенок не менее 3 мм, заполненная

цементным раствором;

3 – марка;

4 – предохранительный чугунный колпак с опорным бетонным

кольцом и металлической крышкой;

5 – земная поверхность, очищенная от дерна;

6 – заливка бетонным раствором;

7 – бетонное кольцо;

8 – противокоррозионный слой;

9 – наибольшая глубина оттаивания грунта;

10 – наибольшая глубина промерзания грунта;

11- заливка цементным раствором толщиной 2 – 3 мм;

12 – два металлических стержня, вставленные в отверстия,

просверленные в нижней части трубы.

**2.1.4. Первый метод GPS определений**

Суть схемы заключается в следующем (рис.2.3) На первом этапе три приемника устанавливаются на пункты триангуляции для контроля качества сети, далее базовая станция устанавливается на исходный пункт триангуляции 3 класса «Зеленков», а два ровера на определяемые пункты «GPS1», «GPS2». Таким образом, засекается первый треугольник. Далее не меняя исходного пункта, два ровера переносят на определяемые пункты «GPS3», «GPS4» и засекают второй треугольник. Все определения необходимо проводить строго по проекту. Дальнейшее позиционирование выполняют по той же схеме, при этом изменению подлежит только место расположения исходного пункта триангуляции с базовым приемником.

Рисунок 2.3. Схема переходов между сеансами при первом методе GPS определений

**2.1.5. Предрасчет погрешности координат и дирекционных углов**

Погрешность пространственного положения отдельного пункта, координаты которого определены GPS-аппаратурой, может быть получена из выражения [6]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где *R* - коэффициент, значение которого определяют исходя из условий радиовидимости (при идеальной радиовидимости *R* = l);

*Mmes* - ошибка, обусловленная погрешностью измерений

(аппаратурная погрешность);

*MC* - ошибка центрирования GPS-приемника и измерения его

высоты;

*MTR* - ошибка трансформирования, обусловленная погрешностью

взаимного положения трансформационных пунктов.

Значение *Mmes* находят из выражения:

,

где: *mxi, myi и mzi* - погрешности определения геоцентрических координат пункта.

По результатам теоретических работ и натурных исследований *mx = my = 0.5mz = ms,*

где: *ms* - величина аппаратурной погрешности измерения базовых линий.

Тогда:

,

Величины аппаратурных погрешностей приведены в табл. 2.1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.1 Величины аппаратурных погрешностей | | | | |
| Базовая линия | | | ms - аппаратурная погрешность | |
| Направление | | Длина, км | В плане, мм (5 мм + 0,5 мм [на 1 км]) | По высоте, мм (5 мм + 1 мм [на 1 км]) |
| Зеленков | GPS1 | 2,284 | 6,1 | 7,3 |
| GPS2 | 2,997 | 6,5 | 7,9 |
| GPS3 | 4,292 | 7,1 | 9,3 |
| GPS4 | 4,070 | 7,0 | 9,1 |
| Дугино | GPS1 | 4,150 | 7,1 | 9,1 |
| GPS2 | 4,070 | 7,0 | 9,1 |
| GPS3 | 3,145 | 6,6 | 8,1 |
| GPS4 | 3,070 | 6,5 | 8,1 |
| Кагальник | GPS1 | 4,329 | 7,2 | 9,3 |
| GPS2 | 4,330 | 7,2 | 9,3 |
| GPS3 | 4,181 | 7,1 | 9,2 |
| GPS4 | 4,255 | 7,1 | 9,2 |

Значение *MC2* определяют по формуле:

,

где *h -* высота установки инструмента (≈ 1,5 м);

*τ* - цена деления круглого уровня (6`);

*ρ* -радиан (3438`);

2 (мм) - погрешность измерения высоты инструмента.

,

.

Значение *MTRi* находят из выражения:

,

где *Мmax* - максимальная ошибка взаимного положения пары трансформационных пунктов, которую определяют как среднюю квадратическую погрешность взаимного положения исходных пунктов *mВ.П.*

.

Расчет произвем для стороны триангуляции «Дугино-Зеленый» с длиной *S* =7,141км. Для триангуляции 3 класса погрешность взаимного положения пунктов принимаем равной 0,06 м [8].

*Li* - расстояние по перпендикуляру от определяемого пункта до стороны с максимальном погрешностью взаимного положения исходных пунктов; при *Li* ≥ 8 км *MTRi* = 0.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.2 Определение ошибки трансформации | | | |
| Базовая линия | | Li, км | MTRi, мм |
| Дугино-Кагальник | GPS1 | 2,183 | 43,6 |
| GPS2 | 2,072 | 44,5 |
| GPS3 | 0,776 | 54,2 |
| GPS4 | 0,889 | 53,3 |

Ошибки пространственного положения отдельных пунктов рассчитываются по формуле (1) и заносятся в табл. 2.3.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.3 Ошибки пространственного положения отдельных пунктов | | | | | | |
| Базовая станция | Определяемые пункты | R | Mmes, мм | Mtr, мм | MC, мм | M, мм |
| Зеленков | GPS1 | 1 | 12,2 | 45,6 | 2 | 47,3 |
| GPS2 | 1 | 13,0 | 45,3 | 2 | 47,2 |
| GPS3 | 1 | 14,2 | 42,2 | 2 | 44,6 |
| GPS4 | 1 | 14,0 | 43,3 | 2 | 45,5 |
| Дугино | GPS1 | 1 | 14,2 | 43,6 | 2 | 45,9 |
| GPS2 | 1 | 14,0 | 44,5 | 2 | 46,7 |
| GPS3 | 1 | 13,2 | 54,2 | 2 | 55,8 |
| GPS4 | 1 | 13,0 | 53,3 | 2 | 54,9 |
| Кагальник | GPS1 | 1 | 14,4 | 49,7 | 2 | 50,8 |
| GPS2 | 1 | 14,4 | 48,3 | 2 | 51,8 |
| GPS3 | 1 | 14,2 | 40,0 | 2 | 42,5 |
| GPS4 | 1 | 14,2 | 40,6 | 2 | 43,0 |

**2.1.5.1.** Погрешность пространственного положения отдельного пункта определенного из трех сеансов рассчитываем по формуле средне квадратического, как:

.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Результаты вычислений приведены табл. 2.4.  Таблица 2.4 Погрешность пространственного положения отдельного пункта определенного из трех сеансов | | | | |
| Определяемые пункты | Mi, мм | | | M, мм |
| Зеленков | Дугино | Кагальник |
| GPS1 | 47,3 | 45,9 | 50,8 | 27,6 |
| GPS2 | 47,2 | 46,7 | 51,8 | 28,2 |

Продолжение табл. 2.4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| GPS3 | 44,6 | 55,8 | 42,5 | 26,9 |
| GPS4 | 45,5 | 54,9 | 43,0 | 27,1 |

**2.1.5.2.** Погрешность взаимного положения двух пунктов*,* координаты которых определены GPS, вычисляют из выражения [6]; результаты приведены в табл. 2.5.

,

,

В этой формуле:

,

где:  *Sij* - длина стороны между определяемыми пунктами;

*γ* - разность дирекционных углов между определяемой и исходной стороной.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица. 2.5 Погрешность взаимного положения двух пунктов, координаты которых определены GPS | | | |
| Базовая линия | | Li, км | MTRi, мм |
| Дугино-Кагальник | GPS1 | 2,183 | 1 |
| GPS2 | 2,072 |
| GPS3 | 0,776 | 1 |
| GPS4 | 0,889 |

Ошибки взаимного положения пунктов приведены в табл. 2.6.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.6 Ошибки взаимного положения пунктов | | | | | | | | |
| Определяемые пункты | R | MMESi, мм | | | MMES, мм | MTR, мм | MC, мм | Mij, мм |
| Зеленков | Дугино | Кагальник |
| GPS1 | 1 | 12,2 | 14,2 | 14,4 | 7,8 | 1 | 2 | 11,5 |
| GPS2 | 1 | 13,0 | 14,0 | 14,4 | 7,9 |
| GPS3 | 1 | 14,2 | 13,2 | 14,2 | 8,0 | 1 | 2 | 11,6 |
| GPS4 | 1 | 14,0 | 13,0 | 14,2 | 7,9 |

**2.1.5.3.** Погрешность дирекционного угла линии *i-j* длиной *S* опре­деляют из выражения:

,

GPS1-GPS2:

*MGPS1-GPS2*=11,5мм; *S*=0,309 км;

*MαGPS1-GPS2*=7'',7.

GPS3-GPS4:

*MGPS3-GPS4*=11,6мм; *S*=0,315км;

*MαGPS3-GPS4*=7'',6.

**2.1.5.4.** Погрешность положения отдельного пункта по высоте приведена в табл. 2.7.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.7 Погрешность положения отдельного пункта по высоте | | | | |
| Определяемые пункты | Mi, мм | | | M, мм |
| Зеленков | Дугино | Кагальник |
| GPS1 | 14,6 | 18,2 | 18,6 | 9,7 |
| GPS2 | 15,8 | 18,2 | 18,6 | 10,0 |
| GPS3 | 18,6 | 16,2 | 18,4 | 10,2 |
| GPS4 | 18,2 | 16,2 | 18,4 | 10,1 |

Непосредственное влияние на определение высот GPS пунктов составляет ошибка исходных данных, а именно определения высоты пунктов триангуляции 3 класса. Так как отметки пунктов триангуляции определены с низкой точностью, при выполнении GPS-определений высоты создаваемых пунктов будут иметь значительные отклонения по высоте, что не позволит использовать их как опорные пункты для сгущения высотной сети.

**2.1.6. Второй метод GPS определений и выбор методики**

Второй метод предусматривает наблюдения определяемых пунктов в режиме «статика» выполнять по схеме, приведенной на [лист 2]. Суть схемы заключается в следующем: сначала все три приемника устанавливаются на пункты триангуляции 3 класса для контроля качества сети. Затем два приемника остаются на исходных пунктах триангуляции 3 класса – базис «Дугино» - «Кагальник», а третий приемник поочередно устанавливается на определяемые пункты «GPS1», «GPS2», «GPS3», «GPS4».Преимущества этого метода при наличии трех и более приемников очевидны: точки определяются одновременно сразу с двух пунктов, что повышает точность и позволяет производить контроль измерений, опираясь на невязки треугольников.

**2.1.7. Предрасчет погрешности координат и дирекционных углов**

Погрешность пространственного положения отдельного пункта, координаты которого определены GPS-аппаратурой, может быть получена из выражения [6]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где *R* - коэффициент, значение которого определяют исходя из условий радиовидимости (при идеальной радиовидимости *R* = l);

*Mmes* - ошибка, обусловленная погрешностью измерений

(аппаратурная погрешность);

*MC* - ошибка центрирования GPS-приемника и измерения его

высоты;

*MTR* - ошибка трансформирования, обусловленная погрешностью

взаимного положения трансформационных пунктов.

Значение *Mmes* находят из выражения:

,

где: *mxi, myi и mzi* - погрешности определения геоцентрических координат пункта.

По результатам теоретических работ и натурных исследований

*mx = my = 0.5mz = ms,*

где: *ms* - величина аппаратурной погрешности измерения базовых линий.

Тогда:

,

Величины аппаратурных погрешностей приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8 Величины аппаратурных погрешностей

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Базовая линия | | | ms - аппаратурная погрешность | |
| Направление | | Длина, км | В плане, мм (5 мм + 0,5 мм [на 1 км]) | По высоте, мм (5 мм + 1 мм [на 1 км]) |
| Дугино | GPS1 | 4,150 | 7,1 | 9,1 |
| GPS2 | 4,070 | 7,0 | 9,1 |
| GPS3 | 3,145 | 6,6 | 8,1 |
| GPS4 | 3,070 | 6,5 | 8,1 |
| Кагальник | GPS1 | 4,329 | 7,2 | 9,3 |
| GPS2 | 4,330 | 7,2 | 9,3 |
| GPS3 | 4,181 | 7,1 | 9,2 |
| GPS4 | 4,255 | 7,1 | 9,2 |

Значение *MC2* определяют по формуле:

,

где *h* - высота установки инструмента (≈ 1,5 м);

*τ* - цена деления круглого уровня (6`);

*ρ* -радиан (3438`);

2 (мм) - погрешность измерения высоты инструмента.

,

.

Значение *MTRi* находят из выражения:

,

где *Мmax* - максимальная ошибка взаимного положения пары трансформационных пунктов, которую определяют как среднюю квадратическую погрешность взаимного положения исходных пунктов *mВ.П*.:

.

Расчет произвем для стороны триангуляции «Дугино-Зеленый» с длиной *S* =7,141км. Для триангуляции 3 класса погрешность взаимного положения пунктов принимаем равной 0,06 м [8].

*Li* - расстояние по перпендикуляру от определяемого пункта до стороны с максимальном по­грешностью взаимного положения исходных пунктов; при *Li* ≥ 8 км *MTRi* = 0.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.9 Определение ошибки трансформации | | | |
| Базовая линия | | Li, км | MTRi, мм |
| Дугино-Кагальник | GPS1 | 2,183 | 43,6 |
| GPS2 | 2,072 | 44,5 |
| GPS3 | 0,776 | 54,2 |
| GPS4 | 0,889 | 53,3 |

Ошибки пространственного положения отдельных пунктов рассчитываются по формуле (1) и заносятся в табл. 2.10.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.10 Ошибки пространственного положения отдельных пунктов | | | | | | |
| Базовая станция | Определяемые пункты | R | Mmes, мм | Mtr, мм | MC, мм | M, мм |
| Дугино | GPS1 | 1 | 14,2 | 43,6 | 2 | 45,9 |
| GPS2 | 1 | 14,0 | 44,5 | 2 | 46,7 |
| GPS3 | 1 | 13,2 | 54,2 | 2 | 55,8 |
| GPS4 | 1 | 13,0 | 53,3 | 2 | 54,9 |

Продолжение табл. 2.10

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Кагальник | GPS1 | 1 | 14,4 | 49,7 | 2 | 51,8 |
| GPS2 | 1 | 14,4 | 48,3 | 2 | 50,5 |
| GPS3 | 1 | 14,2 | 40,0 | 2 | 42,5 |
| GPS4 | 1 | 14,2 | 40,6 | 2 | 43,0 |

**2.1.7.1.** Погрешность пространственного положения отдельного пункта определенного из двух сеансов рассчитываем по формуле средне квадратического, как:

.

Результаты вычислений приведены табл. 2.11.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.11 Погрешность пространственного положения отдельного пункта | | | |
| Определяемые пункты | Mi, мм | | M, мм |
| Дугино | Кагальник |  |
| GPS1 | 45,9 | 51,8 | 34,3 |
| GPS2 | 46,7 | 50,5 | 34,3 |
| GPS3 | 55,8 | 42,5 | 33,8 |
| GPS4 | 54,9 | 43,0 | 33,8 |

**2.1.7.2.**  Следовательно, погрешность взаимного положения двух пунктов, координаты которых определены GPS, вычисляют из выражения [6], результаты приведены в табл. 2.12.

,

,

В этой формуле:

,

где: *Sij* - длина стороны между определяемыми пунктами;

*γ* - разность дирекционных углов между определяемой и исходной стороной.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.12 Погрешность взаимного положения двух пунктов, координаты которых определены GPS | | | |
| Базовая линия | | Li, км | MTRi, мм |
| Дугино-Кагальник | GPS1 | 2,183 | 1 |
| GPS2 | 2,072 |
| GPS3 | 0,776 | 1 |
| GPS4 | 0,889 |

Ошибки взаимного положения пунктов приведены в табл. 2.13.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.13 Ошибки взаимного положения пунктов | | | | | | | |
| Определяемые пункты | R | MMESi, мм | | MMES, мм | MTR, мм | MC, мм | Mij, мм |
| Дугино | Кагальник |  |  |  |  |
| GPS1 | 1 | 14,2 | 14,4 | 10,1 | 1 | 2 | 14,5 |
| GPS2 | 1 | 14,0 | 14,4 | 10,0 |
| GPS3 | 1 | 13,2 | 14,2 | 9,7 | 1 | 2 | 14,0 |
| GPS4 | 1 | 13,0 | 14,2 | 9,6 |

**2.1.7.3.**  Погрешность дирекционного угла линий GPS1-GPS2 и GPS3-GPS4 определяют из выражения:

,

GPS1-GPS2:

*MGPS1-GPS2*=14,5мм; *S*=0,309 км;

*MαGPS1-GPS2*=9'',7.

GPS3-GPS4:

*MGPS3-GPS4*=14,0мм; *S*=0,315км;

*MαGPS3-GPS4*=9'',2.

**2.1.7.4.** Погрешность положения отдельного пункта по высоте приведена в табл. 2.14.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.14 Погрешность положения отдельного пункта по высоте | | | |
| Определяемые пункты | Mi, мм | | M, мм |
| Дугино | Кагальник |  |
| GPS1 | 18,2 | 18,6 | 13,0 |
| GPS2 | 18,2 | 18,6 | 13,0 |
| GPS3 | 16,2 | 18,4 | 12,2 |
| GPS4 | 16,2 | 18,4 | 12,2 |

Так как точность определения планового положения точек удовлетворяет требованиям инструкций в двух случаях, для производства работ проектом предусмотрено использовать второй вариант исходя из достоинств, описанных выше. Отметки пунктов триангуляции определены с низкой точностью, при выполнении GPS-определений высоты создаваемых пунктов будут иметь значительные отклонения по высоте, что не позволит использовать их как опорные пункты для сгущения высотной сети.