

Лабораторная работа №3

«Использование дифференциального режима спутниковых систем навигации в процессе определения координат»

Цель работы: ознакомление и изучение физических основ и точностных характеристик дифференциального режима спутниковых систем навигации в процессе определения координат.

Домашнее задание:

1. Изучение теоретического материала.
2. Анализ процесса определения координат ВС в дифференциальном режиме.
3. Изучение алгоритма проведения математического расчета.

Основные теоретические сведения.

Спутниковые навигационные системы позволяют потребителю получить координаты с точностью порядка 10-15 м. Однако для многих задач, особенно для навигации в горах, требуется большая точность.

В основе метода дифференциальной навигации лежит относительное постоянство значительной части погрешностей СРНС во времени и в пространстве.

Дифференциальный режим СРНС предполагает наличие как минимум двух спутниковых приемников (рис. 3.1.). Например, контрольно-корректирующая станция (ККС) и ВС расположены в точках 1 и 2 пространства, причем ККС геодезически точно привязана к принятой системе координат. Разности между измеренными ККС и рассчитанными в нем значениями псевдодальностей "видимых" КА, а также разности соответствующих псевдоскоростей по линии передачи данных передаются в виде дифференциальных поправок ВС, где они вычитаются из измеренных на ВС псевдодальностей и псевдоскоростей.

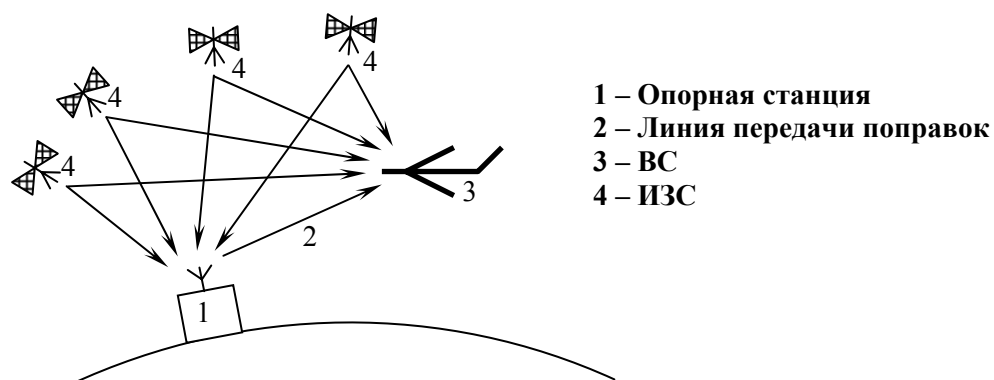


Рис. 3.1. Схема работы дифференциального режима.

Точность местоопределения после ввода поправок определяется остаточными погрешностями, ошибками за счет ионосферы, погрешностями селективного доступа GPS, а также ошибками, обусловленными шумами и помехами, воздействием тропосферы. С учетом принятого выше, погрешность определения i -й псевдодальности δD_i в дифференциальном режиме может быть записана в виде:

$$\delta D_i = \delta D_{ie} + \delta D_{ioon} + \delta D_{in2} - \delta D_{in1}, \quad (3.1.)$$

где $\delta D_{ie}, \delta D_{ioon}$ - остаточные погрешности за счет эфемеридных и ионосферных ошибок;

$\delta D_{in2}, \delta D_{in1}$ - соответственно шумовые погрешности ККС и ВС, включающие погрешности обусловленные внутренними и внешними шумами, и остаточные ошибки, обусловленные особенностями распространения радиоволн в тропосфере.

Если их считать чисто случайными и взаимонезависимыми, соответствующая дисперсия может быть записана в виде:

$$\sigma_{D_i}^2 = \sigma_{ie}^2 + \sigma_{ioon}^2 + \sigma_{in1}^2 + \sigma_{in2}^2, \quad (3.2.)$$

где $\sigma_{ie}^2, \sigma_{ioon}^2, \sigma_{in1}^2, \sigma_{in2}^2$ - дисперсии соответственно $\delta D_{ie}, \delta D_{ioon}, \delta D_{in2}, \delta D_{in1}$

Предполагая взаимную независимость и равенство статистических характеристик погрешностей (3.1.) для различных дальностей, получим соотношения соответственно для точности определения координат потребителя (среднеквадратическая сферическая ошибка, ССО) и временной поправки $T_2 - T_1$ (СКО)

$$\rho_3 = K_{GP} \sigma_D, \quad (3.3.)$$

$$\sigma_t = \frac{K_{GT} \sigma_D}{c}, \quad (3.4.)$$

где $\sigma_{D_i} = \sigma_D$ определяется соотношением (3.2.); T_2, T_1 - расхождения между шкалой времени СРНС и шкалами времени ККС и ВС соответственно; K_{GP}, K_{GT} - геометрические факторы при определении места и времени (PDOP, TDOP).

Дифференциальная поправка, может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \rho_3 &= a + bL + ct, \\ \rho(t, L) &= \rho_0 + at + bL, \end{aligned} \quad (3.5.)$$

где $\rho_0 = 2,28\text{ м}$; $a = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$; $b = 0,000438 \text{ м/км}$

Погрешности (СКО) аппроксимации ошибок с помощью (3.5.) могут характеризоваться для псевдодальностей следующим соотношением

$$\sigma_{ann} = \sigma_0 (1 - e^{-t/T - L/L_c}), \quad (3.6.)$$

где $\sigma_0 = 3,66 \text{ м}$, $T = 3847 \text{ с}$, $L_c = 122,84 \text{ км}$

При сравнительно низких $\sigma_{ie}^2, \sigma_{in1}^2, \sigma_{in2}^2$, которыми можно пренебречь, основными составляющими, влияющими на точность местоопределения СРНС в дифференциальном режиме, могут быть не скомпенсированные ионосферные ошибки.

В этом случае удвоенные среднеквадратические радиальные ошибки определения места по системе ГЛОНАСС с вероятностью 95% должны быть на уровне

$$\rho_{GL}(t) = (\rho_0^2 + (\rho_1 t^2 / 2)^2)^{1/2} \quad (3.7.)$$

где $\rho_0 = 0,4 \text{ м}$; $\rho_1 = 0,00014 \text{ м/с/с}$

Приведем соответствующее соотношение для GPS

$$\rho_{GPS}(t) = (\rho_0^2 + (\rho_1 t^2 / 2)^2 + (at^2 / 2)^2)^{1/2} \quad (3.8.)$$

где $\rho_0 = 0,4 \text{ м}$; $\rho_1 = 0,00014 \text{ м/с/с}$; $a = 0,011 \text{ м/с/с}$

Различие в (3.7.) и (3.8.) определяется эффектом режима селективного доступа GPS.

Задание к экспериментальной части и проведение лабораторного исследования

После выполнения домашнего задания и проработки теоретического материала можно приступить к работе с программным продуктом лабораторной работы №3. Следуя подсказкам на экране, получить доступ к работе и вариант для выполнения математического исследования. В ходе математического исследования предлагается произвести исследование процессов определения координат на ВС, используя дифференциальную поправку наземной контрольно-корректирующей станции. Взяв за основу, что на ВС установлена аппаратура потребителя одной из СРНС, ГЛОНАСС или GPS для уточнения влияния на точность внешних факторов:

- ✓ Построить графики зависимости дифференциальной поправки
- ✓ Построить графики зависимости погрешности СКО от t-времени и L-расстояния.
- ✓ Построить графики зависимости среднеквадратической радиальной ошибки от t-времени.
- ✓ Сделать выводы о влиянии разных характеристик на ошибки. Какая из систем дает меньшую радиальную ошибку.

Контрольные вопросы.

1. На чем основывается метод дифференциальной навигации?
2. Для чего нужен дифференциальный режим?
3. Чем обусловлены ионосферные составляющие погрешности?
4. Чем определяется точность местоопределения после ввода поправок?
5. Каких точностей можно достичь, используя дифференциальный режим?
6. Ошибку, какой величины можно считать допустимой в определении координат при полете ВС по трассе.
7. Чем обусловлено отличие среднеквадратической погрешности в одних и тех же условиях в СРНС ГЛОНАСС и GPS, почему?
8. Что такое ККС и для чего она нужна при использовании дифференциального режима?

Примерный вариант отчёта по лабораторной работе №3

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Кафедра технической эксплуатации радиотехнического
оборудования и связи

Отчет по лабораторной работе №3

«Использование дифференциального режима спутниковых систем навигации в процессе определения координат»

Выполнил: студент группы РС5-1
Токарев И.И.

Москва - 2006

Цель работы: ознакомление и изучение физических основ и точностных характеристик дифференциального режима спутниковых систем навигации в процессе определения координат.

Основные теоретические сведения:

Спутниковые навигационные системы позволяют потребителю получить координаты с точностью порядка 10-15 м.

В основе метода дифференциальной навигации лежит относительное постоянство значительной части СРНС во времени и пространстве.

Дифференциальный режим СРНС предполагает наличие как минимум двух приемников. Например, контрольно-корректирующая станция и ВС расположены в точках 1 и 2 пространства, причем ККС геодезически точно привязана к принятой системе координат. Разности между измеренными ККС и рассчитанными в нем значениями псевдодальностей «видимых» КА, а также разности соответствующих псевдоскоростей по линии передачи данных передаются в виде дифференциальных поправок ВС, где они вычитаются из измеренных на ВС псевдодальностей и псевдоскоростей.

Дифференциальная поправка может быть представлена в виде:

$$\rho(t, L) = \rho_0 + at + bL,$$

$$\rho_0 = 2,28\text{ м}; a = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}; b = 0,000438 \text{ м/км}.$$

Погрешность (СКО) аппроксимации ошибок могут характеризоваться для псевдодальностей следующим выражением:

$$\delta_{ann} = \delta_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T} - \frac{L}{L_c}}\right),$$

$$\delta_0 = 3,66\text{ м}, T = 3847\text{ с}, L_c = 122,84\text{ км}.$$

Радиальные ошибки определения места по системе ГЛОНАСС с вероятностью 95% должны быть на уровне:

$$\rho_{GL}(t) = \left(\rho_0^2 + \left(\frac{\rho_1 t^2}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}},$$

$$\rho_0 = 0,4\text{ м}, \rho_1 = 0,00014 \text{ м/с/с};$$

Для GPS:

$$\rho_{GL}(t) = \left(\rho_0^2 + \left(\frac{\rho_1 t^2}{2} \right)^2 + \left(\frac{at^2}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho_0 = 0,4\text{ м}; \rho_1 = 0,00014 \text{ м/с/с}; \dots a = 0,011 \text{ м/с/с}$$

1. Дифференциальная поправка

$$\rho_0 = 2,28 м,$$

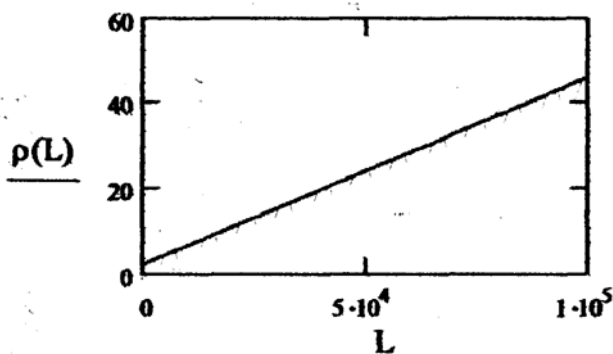
$$a = 1,32 \cdot 10^{-3} \frac{м}{с}$$

$$b = 0,000438 \frac{м}{км}$$

$$t := 0$$

$$L := 0 \dots 100000$$

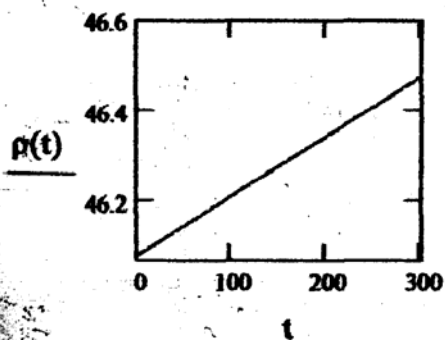
$$\rho(L) = \rho_0 + at + bL$$



$$L := 100000$$

$$t := 0 \dots 300$$

$$\rho(t) := \rho_0 + a \cdot t + b \cdot L$$



2. Погрешность (СКО) аппроксимации ошибок

$$\sigma_0 := 3.6 \text{ м}$$

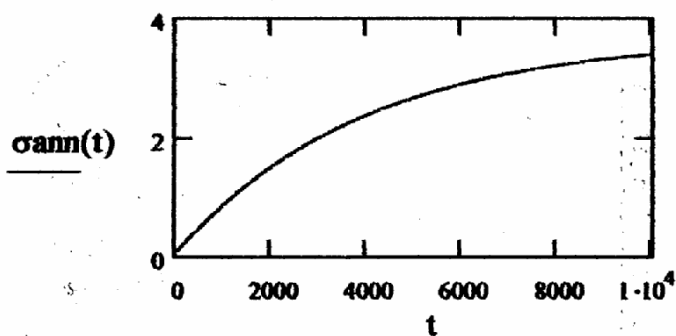
$$T := 3847 \text{ с}$$

$$L_c := 122.84 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$L := 1000$$

$$t := 0 \dots 10000$$

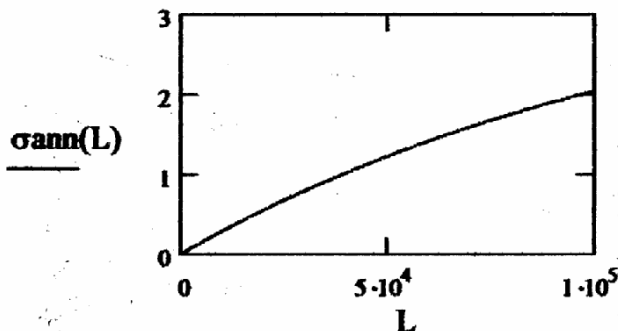
$$\sigma_{\text{анн}}(t) := \sigma_0 \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{T} - \frac{L}{L_c}\right) \right)$$



$$t := 0$$

$$L := 0 \dots 100000$$

$$\sigma_{\text{анн}}(L) := \sigma_0 \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{T} - \frac{L}{L_c}\right) \right)$$



3. Радиальные ошибки

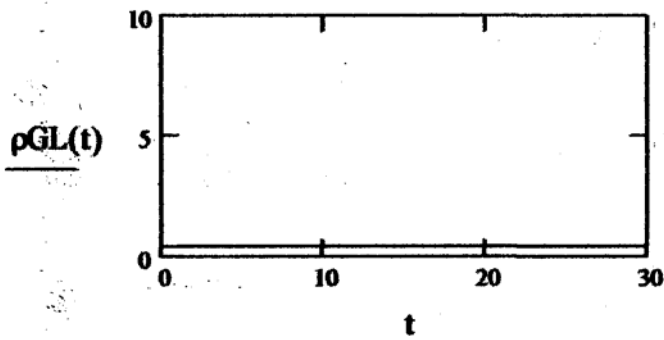
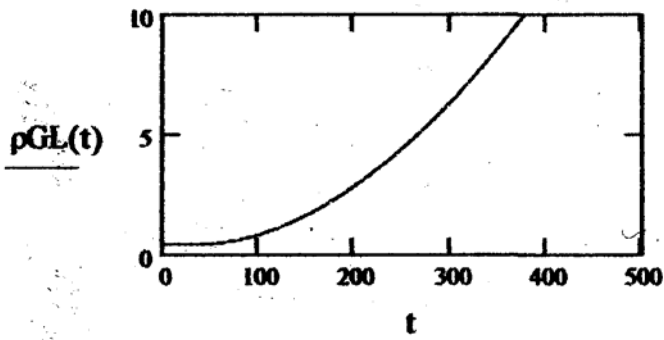
Для системы ГЛОНАСС

$$\rho_0 := 0.4 \text{ м}$$

$$\rho_1 := 0.00014$$

$$t := 0..1000$$

$$\rho_{GL}(t) = \left[\rho_0^2 + \left(\rho_1 \cdot \frac{t^2}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$



Для системы GPS:

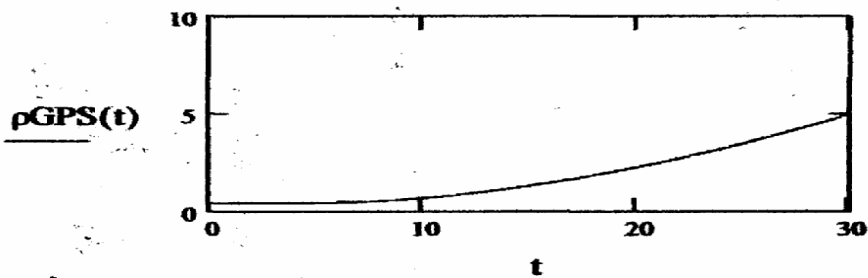
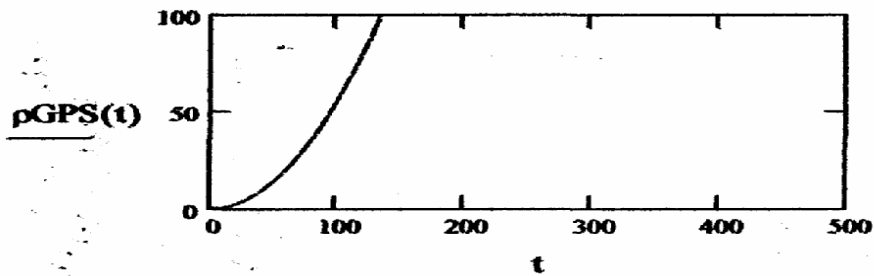
$\rho_0 := 0.1$

$t := 0..1000$

$\rho_1 := 0.00014$

$a := 0.011$

$$\rho_{GPS}(t) := \left[\rho_0^2 + \left(\rho_1 \cdot \frac{t^2}{2} \right)^2 + \left(a \cdot \frac{t^2}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$



Выводы

- 1) График зависимости дифференциальной поправки от времени и от расстояния имеет линейный характер. Характеристика зависимости от времени имеет большую ошибку чем от расстояния.
- 2) Графики зависимостей СКО от времени и от расстояния имеют нелинейный характер и с увеличением t и L резко возрастает ошибка, и зависимость СКО от времени даёт больше ошибку, чем зависимость от расстояния.
- 3) Сравнивая характеристики радиальных ошибок систем ГЛОНАСС и GPS ошибка в системе ГЛОНАСС в 4...5 меньше чем в системе GPS.