# **Практичне заняття №6**

# **ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**Мета** вивчититипи і потенційні можливості супутникової апаратури, освоїти методику вибору супутникової апаратури для виконання конкретних топографо-геодезичних робіт і визначення мінімальної комплектності.

1. **ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ**
2. вивчити типиі потенційні можливості супутникових приймачів і антен (кодові, кодово-фазові, фазові: G, G + G, L1, L1 + L2).
3. вибрати типі модель супутникової апаратури для виконання конкретних робіт (згідно варіантів) і визначити її комплектність. Вибір супутникової апаратури обгрунтувати (там, де це необхідно, виконати розрахунок точності і щільності геодезичної основи).
4. Показати на малюнку основні елементи обраної супутникової апаратури. Вимога до оформлення роботи. Робота повинна бути оформлена на одній стороні не більше 4 зшитих стандартних аркушів білого паперу формату А4 розміром 210х297 і містити: титульний аркуш і текстову частину. На титульному аркуші обов'язково вказується найменування навчального закладу, інституту, спеціальність, номер практичної роботи і її тема, номер варіанта, прізвище студента і підгрупа, прізвище викладача. У текстовій частині обов'язково вказується мета і зміст роботи, обґрунтування вибору типу і моделі супутникової апаратури, мінімальна комплектність супутникової апаратури для виконання робіт (згідно варіанту).

Варіанти:

1. Визначення на місцевості місцеположення пунктів при виконанні робіт з обстеження та розвідці.
2. Визначення координат пунктів в болотисто-тайговій місцевості з похибкою взаємного положення не більше 1м в умовах розрядженої геооснови (базові лінії 100-150 км).
3. Визначення координат пунктів супутникової геодезичної мережі з похибкою взаємного положення не більше 2 см (базові лінії не більше 10 км).
4. виконанняробіт зі створення знімальної основи на забудованій території для великомасштабної зйомки 1: 2000.
5. Визначення координат планово-висотних розпізнавальних знаків для зйомки масштабу 1: 5000.
6. Виконання постійних супутникових спостережень на пунктах ФАГС.
7. Визначення координат пунктів супутникової геодезичної мережі з похибкою взаємного положення не більше 1-2 см (базові лінії 20-30 км).
8. Виконання робіт зі створення знімальної основи і великомасштабної зйомки 1: 1000.
9. Визначення свого місця розташування в процесі руху на автотранспорті.
10. Визначення координат межових знаків відносно найближчих пунктів міської геодезичної мережі із середньою квадратичною похибкою 5 см.
11. Створення високоточної геодезичної мережі (ВГС) із середньою квадратіче- ської похибкою взаємного положення пунктів 1-2 см.
12. Створення супутникової геодезичної мережі 1 класу (СГС-1) із середньою квадратичною похибкою взаємного положення пунктів 1-2 см.
13. Створення супутникової міської геодезичної мережі 1 класу (СГГС-1) із середньою квадратичною похибкою взаємного положення пунктів 1-2 см
14. **ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**
15. Класифікація супутникової апаратури.
16. До якого типу (за різною класифікацією) відноситься обрана апаратура?
17. Яка апаратура точніше - фазова або кодова, і чому?
18. Чомуодночастотую апаратуру не рекомендується використовувати при відстанях більше 10 км?
19. Обгрунтувати вибір апаратури для свого варіанту.
20. Назвати кількафірм-виробників супутникової апаратури.
21. Паспортна точність приймача при статиці в плані: 3мм плюс мінус 1PPM. Яка буде помилка в плані при відстані 10 км?
22. **ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**
23. Антонович К.М. Використання супутникових радіонавігаційних систем в геодезії. У 2 т. Т.1. Монографія / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибірська державна геодезичнаакадемія М .: ФГУП «Картгеоцентр»,2005. - 334 с.
24. Антонович К.М.Навігаційно-топографічна GPS-система PATHFINDER. Практикум для студентів геодезичних спеціальностей. Ч.1. Новосибірськ, СМДА, 1995 р.-44 с.

# **Практичне заняття №7**

# **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ РУХУ НКА**

Мета роботи: дослідження моделей руху супутників GPS.

**1. Теоретичне введення**

Для вирішення навігаційного завдання необхідне знання координат НКА в будь-який момент часу. Координати можна визначити знаючи модель руху супутників, а необхідні параметри орбіт визначаються з відповідних файлів формату Rinex.

Для знаходження вектора стану спостерігача необхідно вміти обчислювати вектор стану НКА. Вихідні дані для побудови алгоритму містяться в интерфейсном документі GPS-системи.

Для опису руху НКА системи GPS використовують геоцентричну обертову систему координат WGS-84 ( "World Geodetic System"). Час в системі представляється номером тижні і зміщенням від початку тижня в секундах. Відлік системного часу GPS ведеться безперервно починаючи з 0 годин 00 секунд 5 січня 1980 року по Грінвічу.

Розрахунок вектора стану НКА виробляється за допомогою ефемеридних даних або ефемерид, що передаються з борту. Ефемеридні дані оновлюються раз на дві години і відносяться до часу доби (опорного, вихідного моменту часу). Термін дії ефемерид складає 604800 секунд або тиждень. Ефемериди складаються зі стандартних елементів кеплеровской орбіти і деяких параметрів:

 – епоха,

– квадратний корінь з піввісь орбіти,

 – відхилення значення середнього руху від,

 – середня аномалія на час доби,

– ексцентриситет орбіти,

– кут перигею,

– нахил орбіти на час доби,

– швидкість зміни способу орбіти,

– довгота висхідного вузла площині орбіти на час доби,

– швидкість зміни довготи висхідного вузла площині орбіти,

– амплітуда синусоїдальної поправки аргументу широти,

– амплітуда косинусоидальної поправки аргументу широти,

– амплітуда синусоїдальної поправки радіуса орбіти,

– амплітуда косинусоидальної поправки радіуса орбіти,

– амплітуда синусоїдальної поправки способу орбіти,

– амплітуда косинусоидальної поправки способу орбіти,

У інтерфейсному документі GPS запропонована аналітична модель для визначення вектора положення НКА. Згідно інтерфейсного документу,

Вектор положення НКА  на момент часу   визначається покроковим обчисленням наступних величин:

 час з початку епохи;

 – середній рух ,

де  – універсальна гравітаційна постійна Землі в системі WGS-84;

 – скориговане середній рух;

 – середня аномалія;

– ексцентрична аномалія (рівняння Кеплера);

 справжня аномалія;

 – аргумент широти;

 – поправка аргументу широти;

– поправка радіуса-вектора;

 – поправка до нахиленню;

 – скоригований аргумент широти;

 – скоригований радіус орбіти;

– скориговане нахил.

– становище довготи висхідного вузла в інерціальній системі координат осі якої збігаються з рухомою WGS-84 на даний момент часу,

де - кутова швидкість обертання землі в системі WGS-84.

Вектор положення в площині орбіти НКА описується наступними співвідношеннями:

.

Компоненти вектора положення НКА в системі координат WGS-84, згідно з [1], задовольняють наступним співвідношенням:

.

У даній роботі були отримані співвідношення для визначення компонент вектора швидкості. Для отримання цих співвідношень необхідно обчислити такі похідні:

,

,

,

,

,

,

,

,

.

Отже, вектор швидкості в площині орбіти НКА описується наступними співвідношеннями:

.

Диференціюючи співвідношення для компонент вектора положення, отримуємо компоненти вектора стану i-го НКА під обертається системі координат WGS-84:



**2.ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Назвіть основні параметри орбіти НКА.

2. Що таке ексцентриситет орбіти?

3. Запишіть рівняння Кеплера.

4. Як з рівняння Кеплера визначити ексцентриситет?

5. Чому дорівнює період обертання супутників GPS?

6. Яка інформація міститься в файлах формату Rinex 2.11?

1. **ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**

1. Гофман-Веленгоф Б. Лихтенегер Г. Глобальная система супутникової навігації. Теорія і практика. Київ: Наукова думка, 1996

2. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. М: Горячая линия – Телеком, 2005, 272с.

3. Шебшевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь. 1986

# **Практичне заняття №8**

# **ІТЕРАТИВНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ КООРДИНАТ СПОЖИВАЧА**

**Мета роботи**: Вивчення методу розрахунку координат споживача за даними, отриманими з навігаційних супутників GPS, ГЛОНАСС і виміряним псевдовідстанням.

Головним завданням супутникового навігаційного приймача є визначення координат. Для вирішення цього завдання потрібно виявити сигнали супутників, перейти в режим спостереження за сигналами, прийняти і декодувати дані, що надходять в повідомленнях супутників, виміряти відстані до супутників, обробити всю інформацію і вирішити навігаційну задачу.

**Порядок виконання роботи**

1. Отримати вихідні дані.

2. Вивчіть програмні процедури і коментарі і виконайте завдання по запропонованій програмі.

3. Завдання 1. Послідовно виконати файл для розрахунку координат за участю в розрахунках 10, 8, 6, 4 супутників з різних сузір'їв. Проаналізуйте отримані результати. Розрахунки позиції і результати аналізу запишіть в звіт.

**Методичні вказівки**

Вхідні дані для програми:

1. Координати супутників GPS, які задаються у вигляді коефіцієнтів матриці А (i, j), де i = 1, ..., 11 - умовний номер супутника, а j = 1, ..., 3 - координата X, Y, Z відповідно; розмірність метр.

2. Виміряні псевдодальності до супутників GPS, які задаються у вигляді вектора Р (i), де i = 1, ..., 11; розмірність метр.

3. N - кількість супутників беруть участь в розрахунках.

Вихідні дані:

1. Позиція приймача COOR (1: 3): COOR (1), COOR (2), COOR (3) - координати X, Y, Z відповідно.

2. Різниця між розрахованої і виміряної позиціями приймача - delta.

3. Просторовий геометричний фактор - PDOP.

Код програми:

% Координати позиції приймача

Rx = 3504451.023;

Ry = 2061316.876;

Rz = 4897990.975;

c = 299792458;

% Coordinate GPS

A (1,1) = 17538905.3057;

A (1,2) = 5002358.1848;

A (1,3) = 19491888.2375;

A (2,1) = 4663374.4680;

A (2,2) = 26111610.3506;

A (2,3) = - 1893746.2783;

A (3,1) = 10730548.7454;

A (3,2) = - 11210014.3613;

A (3,3) = 21612451.4927;

A (4,1) = 19912340.4598;

A (4,2) = - 17075023.7802;

A (4,3) = 3932798.1412;

% Початок звіту для вирішення задачі розрахунку координат позиції приймача

% (Центр земля)

X = 0; Y = 0; Z = 0; T1 = 1;

% Завдання ТОЧНОСТІ обчислень

eps1 = 4;

dX = eps1 \* 4;

dY = eps1 \* 4;

dZ = eps1 \* 4;

dT1 = eps1 \* 4;

apred = [XYZ T1];

da = [eps1 \* 4 eps1 \* 4 eps1 \* 4 eps1 \* 4]; % Abs (apred)

while da> [eps1 eps1 eps1 eps1]

a = [XYZ T1];

R = [a; a; a; a];

W = 0.4; % Коефіцієнт при штучному введенні помилки в псевдодальності

% Обмірювані псевдодальності до супутників GPS

P (1) = 20576756.0198;

P (2) = 24211420.9004;

P (3) = 23315367.6977;

P (4) = 25268938.2920;

% Обмірювані псевдодальності до супутників ГЛОНАСС

% I = 1: 4; j = 1: 3

n = 4;

for (i = 1: n)

PR (i) = sqrt ((A (i, 1) -R (1,1)) ^ 2 + (A (i, 2) -R (1,2)) ^ 2 + (A (i, 3) -R (1,3)) ^ 2);

for (j = 1: 3)

D (i, j) = (A (i, j) -R (i)) / PR (i);

end;

D (1: 4,4) = 1;

DD = [D];

% Розрахунок збільшень

L (i) = PR (i) -P (i);

end; % For (i = 1: n)

% Вибір супутників

% Для даного завдання не менше 5 обов'язково з 1-6

n = 4; % Число супутників

W1 = eye (n); % Одинична матриця (може виступати як матриця вагових коефіцієнтів

VSv = [1 2 3 4]; % Супутники, які беруть участь у вирішенні навігаційних завдань

% Розмірність вектора VSv дорівнює N

G = DD (VSv, :);

DL = L (VSv);

Dr = inv (G '\* W1 \* G) \* G' \* W1 \* DL ';

% Кінцевий етап рішення навігаційної завдання

a1 = a + (Dr (1: 4)) ';

X = a1 (1);

Y = a1 (2);

Z = a1 (3);

Dr (4) = a1 (4);

dX = abs (a1 (1) -apred (1));

dY = abs (a1 (2) -apred (2));

dZ = abs (a1 (3) -apred (3));

dT1 = abs (a1 (4) -apred (4));

da = [dX dY dZ dT1];

apred = a1;

Dr (4);

RM = (inv (G '\* G));

COOR = a1 ';

end% lenh While

% Result in monitor

COOR (1: 3)

delta = COOR (1: 3) - [Rx; Ry; Rz]

PDOP = sqrt (RM (1,1) + RM (2,2) + RM (3,3))

End

Таблиця 1 - Варіанти завдань в файлі еталон.xls

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| варіант | час вимірювань | вид вимірювань |
|  | 12 22 0 0 0 10 | З / А |
|  | 12 22 0 0 30 10 | З / А |
|  | 12 22 0 1 0 10 | З / А |
|  | 12 22 0 1 30 10 | З / А |
|  | 12 22 0 2 0 10 | З / А |
|  | 12 22 0 0 0 10 | P1 |
|  | 12 22 0 0 30 10 | P1 |
|  | 12 22 0 1 0 10 | P1 |
|  | 12 22 0 1 30 10 | P1 |
|  | 12 22 0 2 0 10 | P1 |

**2.ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Які вхідні дані потрібні для вирішення навігаційного завдання?

2. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників одного сузір'я потрібно для вирішення навігаційного завдання?

3. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників двох сузір'їв потрібно для вирішення навігаційного завдання?

4. Яким чином визначається псевдодальностей до навігаційного супутника?

5. Чому при збільшенні псевдодальностей до супутників, які беруть участь в навігаційної задачі, на одну й ту ж саму величину позиція координат не змінюється?

6. Як визначається просторовий геометричний фактор (PDOP)?

7. Які початкові умови можуть бути при вирішенні навігаційної задачі?

1. **ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**

1. Гофман-Веленгоф Б. Лихтенегер Г. Глобальная система супутникової навігації. Теорія і практика. Київ: Наукова думка, 1996

2. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. М: Горячая линия – Телеком, 2005, 272с.

3. Шебшевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь. 1986

# **Практичне заняття №9**

# **УРАХУВАННЯ ТРОПОСФЕРНИХ ТА ІОНОСФЕРНИХ ПОХИБОК**

**Мета роботи**: Вивчення методу урахування похибок про проведення навігаційних розрахунків.

**Методичні вказівки**

Група похибок викликана неточним знанням умов поширення радіохвиль в атмосфері Землі. В атмосфері виділяють кілька шарів, що відрізняються своїми властивостями. Нижній шар, розташований над поверхнею Землі, називають тропосферою, висота якої 8 ... 10 км в полярних широтах, 10 ... 12 км в середніх і 16 ... 18 км в тропіках. Шар атмосфери від 60 ... 90 км до 500 ... 1000 км називають іоносферою. Ці два шари роблять помітний вплив на якість навігаційних вимірювань в НСС, яке проявляється в основному в додаткових затримках сигналу, що виникають через рефракції сигналів супутника (викривлення траси поширення радіохвиль) при проходженні атмосфери Землі.

Основна складова тропосферного похибки навігаційних визначень обумовлена наявністю тропосферного рефракції. Рефракція сигналів в тропосфері викликана неоднородностями і зміною її діелектричної проникності і відповідно показника заломлення зі зміною висоти. Затримка сигналу в тропосфері може досягати 8 ... 80 нс (експериментальні дані для системи GPS). У зв'язку з тим, що для діапазону хвиль, в якому працюють сучасні навігаційні системи типу ГЛОНАСС і GPS, тропосферний рефракція не залежить від частоти сигналу, усунення цієї затримки двочастотних способом не здійснюється. Однак значення тропосферного похибки залежить від чинників, які досить точно відомі і прогнозуються (взаємні координати супутника і споживача, температура, тиск, вологість повітря). Для середніх метеоумов



де Kt - параметр, що характеризує стан тропосфери;

*El*- кут піднесення навігаційного супутника;

*n*- коефіцієнт заломлення радіохвиль;

*ST*- довжина тропосферного ділянки радиотрасс.

Тропосферу з точки зору впливу на її коефіцієнт заломлення, а значить, і на тропосферні затримку, розглядають як суміш сухого повітря і водяної пари. Знаючи зміст водяної пари відповідно до відомими закономірностями можна визначити значення коефіцієнта заломлення для суміші. Крім того, відносні похибки прогнозу тропосферних затримок за середнім показником заломлення в точці прийому, не перевищують 8 ... 10%. Тому використовуються моделі тропосфери дозволяють зменшити ці похибки до одиниць наносекунд.

Значення тропосферного рефракції, так само як і ионосферной досягають максимуму при малих кутах піднесення супутника. Це пояснюється великою довжиною траси, прохідною радіосигналами в атмосфері в такій ситуації.

длязменшення впливу атмосферних похибок в апаратурі споживачів здійснюється обробка сигналів тільки тих супутників, які знаходяться над горизонтом вище, ніж деякий кут - "кут маски". Зазвичай цей кут складає 5 ° ... 10 ° в залежності від якості використовуваних в приймальні апаратурі споживача алгоритмів компенсації атмосферних похибок.

При компенсації атмосферної рефракції періодичність розрахунку коригувальних поправок споживачем визначається швидкістю зміни відповідних затримок, яка в звичайних умовах не перевищує 10 м / ч.

Тропосферний затримка поширення навігаційного сигналу може бути обчислена за такою методикою:



де dhyd, dwet - параметри, що залежать від висоти приймача і п'яти метеорологічних параметрів: тиску P, температури T, тиску

насичених водяної пари e, залежно температури від висоти і градієнта зміни випаровування води. У свою чергу, кожен з цих п'яти параметрів залежить від географічної широти приймача і поточного дня в році D, починаючи з 1 січня:

*x* (*f*, D)= x0(*f* )- Dx (*f* )× cos (2*p* × (D- *D*min) / 365.25),

де Dmin = 28 для північних широт і Dmin = 211 для південних широт,

*x0 ,Dx* - середнє і сезонна зміна параметра.

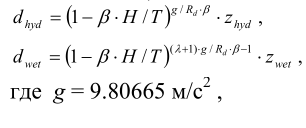
длявизначення значення кожного з п'яти метеорологічних параметрів

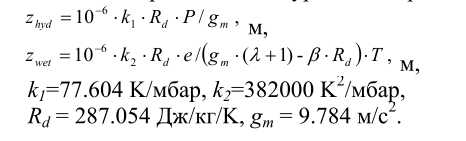
для широти приймача використовується інтерполяція даних, представлених в таблиці 1. Значення метеорологічних параметрів для північної та південної півкуль однакові.

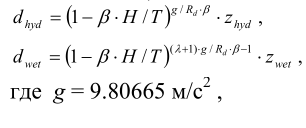
Таблиця 1. Метеорологічні параметри для обчислення тропосферного затримки.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Широта, град | Середнє значення параметра | | | | |
| *P* | *T* | *e* | ** | ** |
| 15 або менше | 1013.25 | 299.65 | 26.31 | 0.00630 | 2.77 |
| 30 | 1017.25 | 294.15 | 21.79 | 0.00605 | 3.15 |
| 45 | 1015.75 | 283.15 | 11.66 | 0.00558 | 2.57 |
| 60 | 1011.75 | 272.15 | 6.78 | 0.00539 | 1.81 |
| 75 або більше | 1013.00 | 263.65 | 4.11 | 0.00453 | 1.55 |
| Широта, град | Сезонне зміна параметра | | | | |
| *P* | *T* | *e* | ** | ** |
| 15 або менше | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 |
| 30 | -3.75 | 7.00 | 8.85 | 0.00025 | 0.33 |
| 45 | -2.25 | 11.00 | 7.24 | 0.00032 | 0.46 |
| 60 | -1.75 | 15.00 | 5.36 | 0.00081 | 0.74 |
| 75 або більше | -0.50 | 14.50 | 3.39 | 0.00062 | 0.30 |

параметри dhydі dwet обчислюються за допомогою наступних співвідношень:







Функція тропосферного корекції m (El) обчислюється таким чином:



**іоносферні похибки**

Рефракція сигналів в іоносфері викликана неоднородностями і зміною її діелектричної проникності зі зміною висоти. Додаткова затримка в іоносфері сигналу з частотою f в порівнянні з затримкою сигналу при прямолінійній поширенніоцінюється наступним чином:

,

де А, В, С - коефіцієнти, що характеризують властивості середовища поширення радіохвиль. Для сигналів середньовисотних навігаційних систем можна залишити тільки перший доданок.

У зв'язку з тим, що іоносферних рефракція залежить від частоти сигналу, знак затримки змінюється в залежності від вимірюваного параметра радіосигналу - фази обвідної або несучої. У першому випадку враховується групова швидкість поширення радіохвиль VГРУП, у другому - фазова VФАЗ. Відповідно в першому випадку додаткова затримка позитивна (виміряна дальність більше істинної), а в другому - негативна.

Значення затримки змінюється в широких межах в залежності від району Землі, де розташований споживач, часу доби, року, сонячної і геомагнітної активності і т.д., і становить від 5 до 500 нс. Середнє значенняна частоті 1.6 ГГц складає 5-10 нс вночі і 30-50 нс днем для кутів місця супутника, близьких до 90 °, а при кутах менше 15 ° зростає в 2-3 рази. Сучасні дослідження підтверджують вплив іоносфери

тільки вдень і найбільш сильно на низьких широтах Землі. Вважається, що ці похибки необхідно враховувати, якщо потрібно отримати точність знаходження планових координат не гірше 8 м.

В даний час відомі наступні методи визначення та обліку :

* + - * моделювання умов на трасі поширення сигналів;
      * двочастотних вимір;
      * надлишкові одночастотні вимірювання.

Застосування даної методики дозволяє зменшити іоносферну похибка приблизно наполовину

**2.ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Як проводиться компенсування тропосферної затримки?

2. Як проводиться компенсування іоносферної затримки?

3. Які вхідні дані потрібні для вирішення навігаційного завдання?

4. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників одного сузір'я потрібно для вирішення навігаційного завдання?

5. Як визначається просторовий геометричний фактор (PDOP)?

6. Які початкові умови можуть бути при вирішенні навігаційної задачі?

1. **ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**

1. Гофман-Веленгоф Б. Лихтенегер Г. Глобальная система супутникової навігації. Теорія і практика. Київ: Наукова думка, 1996

2. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. М: Горячая линия – Телеком, 2005, 272с.

3. Шебшевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь. 1986

# **Практичне заняття №10**

# **ОЦІНКА ПОХИБКИ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ**

**Мета роботи**: Вивчення методу розрахунку координат споживача удиференційномц режимі роботи GPS-апаратури.

**1. Постановка завдання**

Проведено сеанс синхронних спостережень із застосуванням GPS-апаратури, яка працює за стандартним C / A-коду. Базовий приймач i був встановлений на точці з відомими в загальземного системі WGS-84 геодезичними координатами. Спостереження базового приймача були оброблені, і отримані його координатиабсолютним методом (табл. 5). Польовий приймач j знаходився в точці, для якої необхідно визначити координати і  в системі WGS-84 і  в системі СК-42, а також його нормальну висоту . Для польового приймача відомі лише його наближені координати. Базовий і польовий приймачі виміряли псевдовідстані до 5 одних і тих же навігаційних супутників (k = 1, 2, ... 5). координати супутників в системі WGS-84 розраховані з навігаційного повідомленням (табл. 3). Тут же дано псевдовідстані, Виміряні польовим GPS- приймачем і виправлені за вплив тропосфери та іоносфери (j- номер пункту, k - номер супутника). У табл. 4 дані попередні координати польового приймача і висота квазігеоїда. Необхідні в роботі параметри еліпсоїдів WGS-84 і СК-42 наводяться в таблиці 6, а параметри зв'язку між ними - в табл. 7.

Використовуючи представлену інформацію необхідно за технологією диференціального методу визначити прямокутні і геодезичні координати польового приймача в системі WGS-84  і  а також в системі СК-42 . Крім того необхідно знайти нормальну висоту. Для координат польового приймача, отриманих в системі WGS-84 абсолютним методом, зробити оцінку точності.

Таблиця 3

Координати навігаційних штучних супутників Землі і

псевдовідстані, виправлені за атмосферну рефракцію

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №№ | Координати НІСЗ в системі WGS-84 | | | псевдодальності | | |
| вар. | X | Y | Z | Rover-1 | Rover-2 | Rover-3 |
| 1 | -17 263.7861 | 4 742.0874 | 19 923.0056 | 23 062.109 | 22 976.667 | 23 176.247 |
|  | -7 344.1997 | -14 080.3301 | 21 464.2656 | 25 283.726 | 25 233.857 | 25 278.560 |
|  | -16 648.8510 | 20 584.4062 | - 351.8370 | 24 708.534 | 24 652.178 | 24 867.551 |
|  | 15 194.5652 | - 4 638.1696 | 21 005.4515 | 23 143.146 | 23 188.680 | 23 001.387 |
|  | 16 336.3721 | 15 997.3468 | 14 235.5931 | 22 060.307 | 22 130.006 | 21 965.332 |
| 2 | -18 822.6372 | - 6 009.0440 | 17 438.0388 | 24 787.036 | 24 697.667 | 24 880.599 |
|  | - 7 909.6972 | 24 918.7556 | -701.1697 | 23 614.729 | 23 594.297 | 23 731.639 |
|  | -17 167.5814 | 4 491.3668 | 20 062.0540 | 23 066.947 | 22 981.699 | 23 179.605 |
|  | - 7 058.7658 | -14 132.0215 | 21 529.3063 | 25 275.500 | 25 226.653 | 25 268.300 |
|  | -16 625.5573 | 20 606.8285 | 8.0668 | 24 629.413 | 24 573.347 | 24 788.495 |
| 3 | 15 373.4199 | - 4 404.9867 | 20 921.6182 | 23 118.432 | 23 164.947 | 22 975.021 |
|  | 16 290.0587 | 15 791.8357 | 14 491.6847 | 22 019.156 | 22 087.883 | 21 923.527 |
|  | -18 943.2553 | - 6 221.3049 | 17 232.6038 | 24 863.971 | 24 774.432 | 24 957.736 |
|  | - 7 921.4261 | 24 923.5009 | - 324.4689 | 23 531.685 | 23 511.057 | 23 648.901 |
|  | -17 072.2548 | 4 238.3295 | 20 196.2472 | 23 073.198 | 22 988.149 | 23 184.375 |
| 4 | - 6 772.8755 | -14 185.6384 | 21 589.0895 | 25 268.592 | 25 220.770 | 25 258.750 |
|  | -16 599.4561 | 20 625.7564 | 335.0547 | 24 557.490 | 24 500.561 | 24 715.996 |
|  | 15 552.9723 | - 4 173.7785 | 20 832.4588 | 23 095.255 | 23 142.754 | 22 951.396 |
|  | 16 243.8233 | 15 602.8117 | 14 744.3224 | 21 990.453 | 22 058.779 | 21 893.668 |
|  | -19 063.5566 | - 6 430.4743 | 17 022.7920 | 24 941.179 | 24 851.479 | 25 034.551 |
| 5 | - 7 931.6224 | 24 923.1425 | 52.3160 | 23 449.557 | 23 428.385 | 23 566.701 |
|  | -16 977.8589 | 3 983.0353 | 20 325.5520 | 23 080.862 | 22 996.013 | 23 190.558 |
|  | - 6 486.6118 | -14 241.1788 | 21 643.6023 | 25 263.001 | 25 216.211 | 25 251.715 |
|  | -16 570.4979 | 20 641.2313 | 679.3936 | 24 482.169 | 24 424.964 | 24 641.278 |
|  | 15 733.1550 | - 3 944.5995 | 20 737.9938 | 23 073.624 | 23 122.111 | 22 929.619 |
| 6 | 16 197.7287 | 15 410.3095 | 14 993.4453 | 21 963.012 | 22 030.933 | 21 865.671 |
|  | -19 183.4694 | - 6 636.5178 | 16 808.6566 | 25 018.641 | 24 928.785 | 25 112.226 |
|  | - 7 940.2039 | 24 917.7056 | 429.0875 | 23 367.843 | 23 346.303 | 23 484.465 |
|  | -16 884.4452 | 3 725.5448 | 20 449.9363 | 23 089.934 | 23 005.291 | 23197.549 |
|  | - 6 200.0575 | -14 298.6387 | 21 692.8328 | 25 258.729 | 25 212.976 | 25 244.797 |
| 7 | -16 538.6343 | 20 653.2958 | 1 022.9116 | 24 406.657 | 24 349.787 | 24 566.339 |
|  | 15 913.8996 | - 3 717.5030 | 20 638.2458 | 23 053.547 | 23 103.030 | 22 908.805 |
|  | 16 151.8369 | 15 214.3653 | 15 238.9937 | 21 936.845 | 22 004.358 | 21 839.544 |
|  | -19 302.9214 | - 6 839.4026 | 16 590.2523 | 25 096.336 | 25 006.331 | 25 190.742 |
|  | - 7 947.0894 | 24 907.2182 | 805.7475 | 23 286.737 | 23 264.832 | 23 404.009 |
| 8 | -16 792.0639 | 3 465.9204 | 20 569.3693 | 23 100.413 | 23 015.978 | 23 207.149 |
|  | - 5 913.2955 | -14 358.0126 | 21 736.7707 | 25 255.781 | 25 211.072 | 25 240.402 |
|  | -16 503.8181 | 20 661.9942 | 1 366.1734 | 24 332.641 | 24 274.915 | 24 491.665 |
|  | 16 095.1367 | - 3 492.5408 | 20 533.2385 | 23 035.040 | 23 085.516 | 22 889.512 |
|  | 16 106.2096 | 15 015.0170 | 15 480.9087 | 21 911.963 | 21 979.066 | 21 814.099 |
| 9 | -19 421.8402 | - 7 039.0977 | 16 367.6351 | 25 174.245 | 25 084.102 | 25 268.877 |
|  | - 7 952.1985 | 24 891.7103 | 1 182.1981 | 23 206.263 | 23 183.996 | 23 323.558 |
|  | -17 360.8153 | 4 990.4330 | 19 779.1363 | 23 058.685 | 22 973.050 | 23 174.304 |
|  | - 7 629.0945 | -14 030.5649 | 21 393.9818 | 25 293.248 | 25 242.376 | 25 290.122 |
|  | -16 669.3879 | 20 558.4496 | - 695.5191 | 24 784.488 | 24 728.429 | 24 943.418 |
| 10 | 15 016.4745 | - 4 873.2712 | 21 083.9388 | 23 169.383 | 23 213.942 | 23 028.378 |
|  | 16 382.6999 | 16 159.3121 | 13 976.1087 | 22 080.297 | 22 149.812 | 21 985.771 |
|  | -18 701.7736 | - 5 793.7280 | 17 639.0443 | 24 710.395 | 24 621.204 | 24 803.765 |
|  | - 7 896.5183 | 24 908.8834 | - 1 077.6882 | 23 697.539 | 23 678.076 | 23 814.896 |
|  | -17 458.6142 | 5 236.3465 | 19 630.4816 | 23 056.675 | 22 970.854 | 23 173.7768 |
| 11 | - 7 913.3673 | -13 982.7246 | 21 318.4703 | 25 304.077 | 25 252.203 | 25 302.379 |
|  | -16 687.2200 | 20 528.9203 | - 1 039.0270 | 24 860.668 | 24 804.904 | 25 018.871 |
|  | 14 839.2133 | - 5 110.2340 | 21 157.0622 | 23 197.133 | 23 240.722 | 23 056.285 |
|  | 16 428.9784 | 16 337.6999 | 13 713.2936 | 22 112.708 | 22 182.611 | 23 018.130 |
|  | -18 580.7353 | - 5 575.3946 | 17 835.5689 | 24 634.068 | 24 545.062 | 24 726.652 |
| 12 | - 7 881.9727 | 24 893.8637 | 1 453.9265 | 23 137.330 | 23115.108 | 23 253.608 |
|  | -17 557.1270 | 5 479.7721 | 19 477.0779 | 23 056.080 | 22 970.076 | 23 174.054 |
|  | - 8 196.9354 | -13 936.8066 | 21 237.7481 | 25 316.202 | 25 263.336 | 25 316.527 |
|  | -16 702.4003 | 20 495.7814 | 1 382.2745 | 24 353.581 | 24 295.015 | 24 512.788 |
|  | 14 662.8459 | - 5 348.9994 | 21 224.8050 | 23 226.383 | 23 269.004 | 23 086.293 |
| 13 | 16 475.1430 | 16 512.4805 | 13 447.2108 | 22 146.328 | 22 216.601 | 22 052.296 |
|  | -18 459.5925 | - 5 354.0836 | 18 027.5627 | 24 558.077 | 24 469.263 | 24 650.483 |
|  | - 7 866.1447 | 24 873.6782 | 1 829.7868 | 23 055.127 | 23 032.622 | 23 171.275 |
|  | -17 656.2968 | 5 720.6554 | 19 318.9630 | 23 056.897 | 22 970.717 | 23 176.331 |
|  | 8 479.7162 | -13 892.8063 | 21 151.8332 | 25 024.326 | 25035.726 | 24 915.081 |
| 14 | -16 714.9828 | 20 458.9978 | 1 725.1757 | 24 285.558 | 24 226.535 | 24 444.877 |
|  | 14 487.4354 | - 5 589.5074 | 21 287.1517 | 23 257.117 | 23 298.784 | 23 117.787 |
|  | 16 521.1288 | 16 683.6256 | 13 177.9238 | 22 181.143 | 22 251.803 | 22 087.656 |
|  | -18 338.4149 | - 5 129.8363 | 18 214.9766 | 24 482.442 | 24 393.828 | 24 574.681 |
|  | - 7 849.1185 | 24 848.3111 | 2 205.1715 | 22 973.649 | 22 950.865 | 23 089.642 |
| 15 | -17 756.0659 | 5 958.9435 | 19 156.1756 | 23 059.126 | 22 972.771 | 23 180.623 |
|  | - 8 761.6272 | 13 850.7176 | 21 060.7451 | 20 993.894 | 20 944.018 | 21 077.016 |
|  | -16 725.0226 | 20 418.5354 | - 2 067.6445 | 25 089.836 | 25 035.645 | 25 248.753 |
|  | 14 313.0438 | - 5 831.6968 | 21 344.0886 | 23 289.323 | 23 330.040 | 23 151.353 |
|  | 16 566.8705 | 16 851.1085 | 12 905.4970 | 22 217.134 | 22 288.165 | 22 124.791 |
| 16 | -18 217.2714 | -4 902.6956 | 18 397.7630 | 24 407.185 | 24 318.775 | 24 499.864 |
|  | - 7 830.9792 | 24 817.7491 | 2 579.9828 | 22 892.935 | 22 869.874 | 23 009.348 |
|  | -16 610.5939 | 2 940.5235 | 20 793.2636 | 23 125.574 | 23 041.561 | 23 229.360 |
|  | -5 339.4785 | -14 482.4722 | 21 808.7329 | 25 253.861 | 25 211.252 | 25 234.388 |
|  | 16 458.8066 | -3 049.2186 | 20 307.5475 | 23 002.751 | 23 055.222 | 22 855.820 |
| 17 | -16 425.1462 | 20 669.4761 | 2 051.5846 | 24 183.742 | 24 126.133 | 24 342.561 |
|  | 16 015.9911 | 14 606.2667 | 15 953.6063 | 21 865.497 | 21 932.370 | 21 766.498 |
|  | 19 657.7861 | -7 428.8039 | 15 909.9901 | 24 616.547 | 24 679.404 | 24 451.546 |
|  | -7 956.7700 | 24 845.7658 | 1 934.0802 | 23 046.69 | 23 024.314 | 23 163.950 |
|  | -16 521.5997 | 2 674.8809 | 20 897.6689 | 23 139.641 | 23 056.449 | 23 241.962 |
| 18 | -5 052.5885 | -14 547.5386 | 21 836.7427 | 25 254.292 | 25 213.343 | 25 233.374 |
|  | 16 381.2027 | 20 668.3548 | 2 393.5624 | 23 486.172 | 23 562.278 | 23 420.838 |
|  | 16 641.0964 | -2 830.9547 | 20 186.9183 | 22 988.384 | 23 042.456 | 22 841.338 |
|  | 15 971.5194 | 14 396.9479 | 16 184.2751 | 21 844.532 | 21 910.987 | 21 745.561 |
|  | -7 956.0761 | 24 815.4009 | 2 309.3164 | 22 968.243 | 22 945.513 | 23 0086.033 |
| 19 | -17 263.7861 | 4 742.0874 | 19 923.0056 | 23 062.108 | 22 976.666 | 23 176.247 |
|  | -7 344.1997 | -14 080.3301 | 21 464.2656 | 25 283.720 | 25 233.857 | 25 278.560 |
|  | 15 373.4199 | - 4 404.9867 | 20 921.6182 | 23 118.432 | 23 164.947 | 22 975.921 |
|  | 16 290.0587 | 15 791.8357 | 14 491.6847 | 22 019.156 | 22 087.883 | 21 923.527 |
|  | -16 725.0226 | 20 418.5354 | - 2 067.6445 | 25 090.436 | 25 035.644 | 25 248.753 |
| 20 | -17 167.5814 | 4 491.3668 | 20 062.0540 | 23 066.947 | 22 981.699 | 23 179.604 |
|  | - 7 058.7658 | -14 132.0215 | 21 529.3063 | 25 275.500 | 25 226.653 | 25 268.300 |
|  | 16 336.3721 | 15 997.3468 | 14 235.5931 | 22 060.307 | 22 129.406 | 21 965.332 |
|  | - 7 866.1447 | 24 873.6782 | 1 829.7868 | 23 055.127 | 23 032.623 | 23 171.875 |
|  | 8 479.7162 | -13 892.8063 | 21 151.8332 | 25 024.326 | 25 035.727 | 24 915.681 |

Номер варіанту N відповідає номеру студента по журналу, при цьому варіанти 1-20 використовують ровер-1.

Таблиця 4

Попередні координати польового приймача

і висота квазігеоїда над еліпсоїдом

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №№  приймачів | Попередні координати польового приймача  (Км) | | | Висота квазігеоїда (м) |
| (Роверів) |  |  |  |  |
| 1 | 453.0 | 3638.0 | 5201.0 | -31.25 |
| 2 | 356.0 | 3626.0 | 5217.0 | -30.27 |
| 3 | 617.0 | 3579.0 | 5224.0 | -35.44 |

Таблиця 5

Координати базової станції в системі WGS-84, отримані зі спостережень

абсолютним методом

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №№ | Координати базової станції | | |
| вар. |  |  |  |
| 1 | 459531.28 | 3644015.64 | 5197087.25 |
| 2 | 459526.44 | 3644005.66 | 5197037.28 |
| 3 | 459581.23 | 3643955.34 | 5197127.12 |
| 4 | 459564.77 | 3643994.58 | 5197104.45 |
| 5 | 459582.19 | 3644077.24 | 5197133.20 |
| 6 | 459532.28 | 3644025.67 | 5197180.29 |
| 7 | 459611.24 | 3644119.32 | 5197137.14 |
| 8 | 459572.35 | 3644025.36 | 5197099.40 |
| 9 | 459581.02 | 3644034.14 | 5197188.15 |
| 10 | 459577.98 | 3644125.69 | 5197181.25 |
| 11 | 459433.55 | 3644106.47 | 5197082.11 |
| 12 | 459591.20 | 3643925.77 | 5197152.11 |
| 13 | 459605.99 | 3643966.08 | 5197006.01 |
| 14 | 459539.21 | 3643885.94 | 5197191.36 |
| 15 | 459539.20 | 3644211.11 | 5197182.88 |
| 16 | 459577.12 | 3644044.44 | 5197011.10 |
| 17 | 459542.20 | 3644015.60 | 5197087.25 |
| 18 | 459553.31 | 3644015.46 | 5197087.25 |
| 19 | 459564.45 | 3644015.33 | 5197087.25 |
| 20 | 459573.67 | 3644015.22 | 5197087.25 |

Справжні координати базової станції:

54°55’53.888″, 82°48’45.406″,  98.794 м.

.

Таблиця 6

Параметри референц-еліпсоїдів

| NN п.п. | назви параметрів | розмір-ність | Загальземного еліпсоїд WGS-84 | еліпсоїд Красовського |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Велика піввісь, | м | 6378137 | 6378245 |
| 2 | Знаменник стиснення, | б / р. | 298.257223563 | 298.3 |
| 3 | квадрат ексцентриситету | б / р. | 6.69437999010-3 | 6.693421510-3 |

Таблиця 7

Параметри для переходу від системи WGS-84 до СК-42

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметри перенесення (м) | | | масштаб | кути обертання | | |
| *TX* | *TY* | *TZ* | *m* | *X* | *Y* | *Z* |
| -22.52 | 126.59 | 78.84 | 0.8910-6 | 0.165 | 0.089 | 0.627 |

1. **ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

*3.1. Визначення координат польового приймача в системі WGS-84 рішенням зарубки по псевдо (абсолютний метод)*

Випишемо вихідні дані для свого варіанту: координати супутників і псевдо з табл. 3 і попередні координати приймача-ровера з табл. 4. Приклад в табл. 8 дається для деякого абстрактного варіанту, без номера.

Таблиця 8

Координати супутників і пункту і виміряні псевдодальності

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | X | Y | Z |  |
| 1 | -17 263.7861 | 4 742.0874 | 19 923.0056 | 23 062.1089 |
| 2 | -18 822.6372 | - 6 009.0440 | 17 438.0388 | 24 787.0364 |
| 3 | 15 373.4199 | - 4 404.9867 | 20 921.6182 | 23 118.4326 |
| 4 | 16 243.8233 | 15 602.8117 | 14 744.3224 | 21 990.4531 |
| 5 | - 8 761.6272 | 13 850.7176 | 21 060.7451 | 20 993.8943 |
| Ровер | 453.5 | 3638.3 | 5200.7 |  |

Складемо систему рівнянь поправок у виміряні псевдодальності у вигляді:

. (33)

тут - вектор поправок в попередні координати пункту спостережень ,  - напрямні косинуси топоцентричних напрямків на супутник, що визначаються за формулами (29), (30), - внесок зсуву шкали годинника приймача в псевдодальностей. Отримані коефіцієнти і вільні члени заносимо в табл. 9; стовпець для v**  поки не заповнюється.

Таблиця 9

Коефіцієнти і вільні члени рівнянь спостережень

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №№  спут. | дальність |  |  |  | 1 | *l*  (Км) | *v*  (М) |
| 1 | 23 062.238 | 0.76824 | -0.04786 | -0.63838 | 1 | 0.129 | -0.6 |
| 2 | 24 786.955 | 0.77767 | 0.38921 | -0.49370 | 1 | -0.081 | 0.3 |
| 3 | 23 117.888 | -0.64536 | 0.34792 | -0.68002 | 1 | -0.545 | -0.05 |
| 4 | 21 990.101 | -0.71805 | -0.54408 | -0.43399 | 1 | -0.352 | -0.06 |
| 5 | 20 994.119 | 0.43894 | -0.48645 | -0.75546 | 1 | 0.225 | 0.3 |

Введемо позначення:

, , (34)

тоді систему рівнянь (33) можна записати в матричному вигляді:

. (35)

Оскільки інформація, видобута система рівнянь поправок є перевизначення (5 рівнянь при 4-х невідомих), то рішення проводиться по МНК по умовою . Для цього складається система нормальних рівнянь:

, (36)

де

. (37)

Складаємо систему нормальних рівнянь.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| [Aa] = 2.31972 | [Ab] = 0.21853 | [Ac] = - 0.45548 | [Ad] = 0.62144 | [Al] = 0.73935 |
|  | [Bb] = 0.80748 | [Bc] = 0.20543 | [Bd] = - 0.34126 | [Bl] = - 0.14525 |
|  |  | [Cc] = 1.87276 | [Cd] = 3.00155 | [Cl] = 0.31103 |
|  |  |  | [Dd] = 5 | [Dl] = - 0.625 |

Рішення системи нормальних рівнянь проводиться будь-яким відомим студенту методом (визначників, виключення невідомих методом Гаусса-Дулітл, звернення матриці коефіцієнтів і т.п.). Формально рішення системи в матричному вигляді записується в такий спосіб:

, (38)

де  - зворотна по відношенню до матриця. Для прикладу отримано:





Знаходимо координати пункту:

  (39)

і зрушення шкали годинника приймача:

, (40)

де з = 299792.458 км / с - швидкість поширення електромагнітної хвилі.

, dtj = 1.9985 мкс.

*3.2. Оцінка точності визначення координат польового приймача і часу*

Обчислюються поправки v** в виміряні псевдодальності з використанням формули (31), і по ним знаходиться середня квадратична помилка одиниці ваги:

, (41)

де n - число вимірювань, k - число невідомих.

Для оцінки точності координат і часу на пункті j знаходиться кореляційна матриця .Тоді середні квадратичні помилки визначення координат mX, mY, mZ і часу mT можна знайти за формулами:

, (42)

а повна помилка положення пункту знаходиться за формулою:

. (43)

Величина PDOP (Position Delution of Precision - позиційне зниження точності), звана геометричним фактором, характеризує вплив геометрії мережі, тобто взаємного розташування сузір'я супутників і пункту на точність визначення координат абсолютним методом. Зазвичай ця точність недостатньо висока для геодезичного застосування через помилки ефемерид супутників, неврахованого впливу тропосфери, іоносфери, режиму SA зашумлення GPS і інших джерел помилок. При диференціальному визначенні координат пунктів, коли ряд помилок однаковим чином спотворює координати і базового і польового приймачів (корельовані помилки) точність визначення значно підвищується і в залежності від типу апаратури може досягати 0.5 - 2.0 м.

У прикладі отримано: ** = 0.68 м, , м,  нс.

*3.3. Обчислення диференціальних поправок за результатами вимірювань на базовій станції*

Справжні координати базової станції в системі WGS-84 відомі в формі геодезичних координат , А отримані зі спостережень - в формі декартових координат . Для обчислення диференціальних поправок перетворимо геодезичні координати базової станції в прямокутні:

, (44)

Тут N - радіус кривизни еліпсоїда WGS-84 в першому вертикалі:

. (45)

Диференціальні поправки знайдемо так:

. (46)

Для базової станції маємо:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Bi* | 56°21′15.33″ |  | *a* | 6378.137 км |  | *Xi* | 479.5695 км |
| *Li* | 82°13′07.98″ |  | *e2* | 6.69438⋅10-3 |  | *Yi* | 3509.5448 км |
| *Hi* | 155.21 м |  | *N* | 6 392.9837 км |  | *Zi* | 5286.5277 км |



*3.4. Виправлення координат польового приймача*

На практиці поправки передаються від базової станції до польового приймача або при пост-обробці, або по радіоканалу в реальному часі (режим DGPS).

. (47)

Виправляємо координати польового приймача:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 453.2032 |  |  | 3638.5348 |  |  | 5201.4676 |
| *Xj* | 0.0661 |  | *Yj* | 0.1233 |  | *Zj* | -0.1024 |
| *Xj* | 453.2693 |  | *Yj* | 3638.6581 |  | *Zj* | 5201.3652 |

**4 ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Що таке диференційний режим GPS-апаратури?

2. Як організуеться диференційний режим роботи GPS-апаратури?

3. Які вхідні дані потрібні для вирішення навігаційного завдання у диференційному режимі?

4. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників одного сузір'я потрібно для вирішення навігаційного завдання?

5. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників двох сузір'їв потрібно для вирішення навігаційного завдання?

6. Яким чином визначається псевдовідстані до навігаційного супутника?

1. **ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**

1. Гофман-Веленгоф Б. Лихтенегер Г. Глобальная система супутникової навігації. Теорія і практика. Київ: Наукова думка, 1996

2. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. М: Горячая линия – Телеком, 2005, 272с.

3. Шебшевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь. 1986

# **Практичне заняття №11**

# **ФОРМАТ ОСНОВНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ NMEA-0183**

**Мета роботи**: Вивчення формату основних повідомлень протоколу NMEA-0183

**1. Теоретичне введення**

**Зміст деяких повідомлень протоколу NMEA версії 2.1**

* **$ GPGGA** Повідомлення містить GPS дані про місцезнаходження, часу місцезнаходження, як даних, кількості використаних супутників, HDOP (Фактор Погіршення Точності Планових Координат), інформацію про диференціальних поправках і їх вік.
* **$ GPGLL** Повідомлення містить GPS-дані про географічній широті, довготі і часу визначення координат.
* **$ GPGSA** У цьому повідомленні відображається режим роботи GPS приймача, параметри супутників, які використовуються при вирішенні навігаційної задачі, результати якої відображені в повідомленні $ GPGGA і значення чинників точності визначення координат.
* **$ GPGSV** У повідомленні вказується кількість видимих ​​супутників, їх номери, піднесення, азимут, і значення відносини сигнал / шум для кожного з них.
* **$ GPRMC**Повідомлення RMC містить дані про час, місце розташування, курс і швидкість, що передаються навігаційним GPS приймачем. Контрольна сума обов'язкове для цього повідомлення, інтервали передачі не повинні перевищувати 2 секунди. Всі поля даних повинні бути підготовлені, поки ще немає самих даних. Недійсні поля можуть бути використані, поки дані тимчасово не готові.
* **$ GPVTG** Повідомлення VTG передає поточний дійсний напрям курсу (COG) і швидкість щодо землі (SOG).
* **$ GPZDA** Повідомлення ZDA містить інформацію про час по UTC, календарний день, місяць, рік і локальний часовий пояс.

**GGA** - GPS Дані про місцезнаходження

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 15 |
| **$ GPGGA,** | hhmmss.ss, | 1111.11, | a, | yyyyy.yy, | a, | x, | xx, | xx, | xxx, | M, | xx, | M, | xx, | xxxx \* hh |

1. Гринвічем час на момент визначення місця розташування.

2. Географічна широта місця розташування.

3. Північ / Південь (N / S).

4. Географічна довгота місця розташування.

5. Захід / Схід (E / W).

6. Індикатор якості GPS сигналу:

|  |
| --- |
| 0 = Позиціонування неможливо або не вірно; |
| 1 = GPS режим звичайної точності, можливе визначення місця розташування; |
| 2 = Диференціальний GPS режим, точність звичайна, можливо визначення місцезнаходження; |
| 3 = GPS режим прецизійної точності, можливе визначення місця розташування. |

7. Кількість використовуваних супутників (00-12, може відрізнятися від числа видимих).

8. Фактор Погіршення Точності Планових Координат (HDOP).

9. Висота антени приймача над / нижче рівня моря.

10. Одиниця виміру висоти розташування антени, метри.

11. Геоідальное відмінність - відмінність між земним еліпсоїдом WGS-84 і рівнем моря (геоидом), "-" = рівень моря нижче еліпсоїда.

12. Одиниця виміру відмінності, метри.

13. Вік Диференціальних даних GPS - Час в секундах з моменту останнього SC104 типу 1 або 9 поновлення, заповнене нулями, якщо диференційний режим не використовується.

14. індіфікатор станції, що передає диференціальні поправки, ID, 0000-1023.

15. Контрольна сума рядка.

*Приклад повідомлення: $ GPGGA, 004241.47,5532.8492, N, 03729.0987, E, 1,04,2.0, -0015, M ,,,, \* 31* **GLL** - географічне положення - Широта / Довгота

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 7 |  |
| **$ GPGLL**, | 1111.11, | a, | yyyyy.yy, | a, | hhmmss.ss, | A \* hh | <CR> <LF> |

1. Географічна широта місця розташування.

2. Північ / Південь (N / S).

3. Географічна довгота місця розташування.

4. Захід / Схід (E / W).

5. Гринвічем час на момент визначення місця розташування.

6. Статус A = дані вірні V = дані не вірні

7. Контрольна сума рядка.

*Приклад повідомлення: $ GPGLL, 5532.8492, N, 03729.0987, E, 004241.469, A \* 33***GSA - GPS фактори точності і активні супутники**

У цьому повідомленні відображається режим роботи GPS приймача, параметри супутників, які використовуються при вирішенні навігаційної задачі, результати якої відображені в повідомленні $ GPGGA і значення чинників точності визначення координат.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 18 |  |
| **$ GPGSA**, | a, | x, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx, | xx \* hh | <CR> <LF> |

1. Режим: M = Ручний, примусово включений 2D або 3D режим; A = Автоматичний, дозволено автомат. вибирати 2D / 3D.

2. Режим: 1 = Місцезнаходження не визначене, 2 = 2D, 3 = 3D

3-14. PRN номера супутників, використаних при виконанні завдання визначення місцезнаходження (нулі для невикористаних).

15. Фактор PDOP.

16. Фактор HDOP.

17. Фактор VDOP.

18. Контрольна сума рядка.

*Приклад повідомлення: $ GPGSA, A, 3,01,02,03,04 ,,,,,,,,, 2.0,2.0,2.0 \* 34***GSV - видимі супутники GPS**

У цьому повідомленні відображається число видимих ​​супутників (SV), PRN номера цих супутників, їх висота над місцевим горизонтом, азимут і ставлення сигнал / шум. У кожному повідомленні може бути інформація не більше ніж про чотири супутники, інші дані можуть бути розташовані в наступних по порядку $ GPGSV повідомленнях. Повне число повідомлень, що відправляються і номер поточного повідомлення вказані в перших двох полях кожного повідомлення.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 8 15 | 16 | 17 | 18 | 19 20 |  |
| **$ GPGSV**, | x, | x, | xx, | xx, | xx, | xxx, | xx ..........., | xx, | xx, | xxx, | xx \* hh | <CR> <LF> |

1. Повне число повідомлень, від 1 до 9.

2. Номер повідомлення, від 1 до 9.

3. Повне число видимих супутників.

4. PRN номер супутника.

5. Висота, градуси, (90 ° - максимум).

6. Азимут істинний, градуси, від 000 ° до 359 °.

7. Відношення сигнал / шум від 00 до 99 дБ, нуль - коли немає сигналу.

8-11. Теж, що в 4-7 для другого супутника.

12-15. Теж, що в 4-7 для третього супутника.

16-19. Теж, що в 4-7 для четвертого супутника.

20. Контрольна сума рядка.

*Приклад повідомлення: $ GPGSV, 3,1,12,02,86,172,, 09,62,237,, 22,39,109,, 27,37,301, \* 7A $ GPGSV, 3,2,12,17,28,050,, 29,21,314 ,, 26,18,246,, 08,10,153, \* 7F $ GPGSV, 3,3,12,07,08,231,, 10,08,043,, 04,06,170,, 30,00,281, \* 77***RMC - pекомендуемий мінімум GPS / навігаційних даних**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |
| **$ GPRMC**, | Hhmmss.ss, | A, | 1111.11, | A, | yyyyy.yy, | a, | xx, | xx, | ddmmyy, | xx, | A | \* hh | <CR> <LF> |

1. Час фіксації місця розташування UTC
2. Стан: А = дійсний, V = попередження навігаційного приймача
3. Географічна широта місця розташування
4. Північ / Південь (N / S)
5. Географічна довгота місця розташування
6. Захід / Схід (E / W)
7. Швидкість над поверхнею (SOG) в вузлах
8. Істинне напрямок курсу в градусах
9. Дата: dd / mm / yy
10. Магнітне відхилення в градусах
11. Захід / Схід (E / W)
12. Контрольна сума рядка (обов'язково)

*Приклад повідомлення: $ GPRMC, 113650.0, A, 5548.607, N, 03739.387, E, 000.01,255.6,210403,08.7, E \* 69*

**VTG - дійсний напрям курсу і швидкість щодо землі**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |  |
| **$ GPVTG**, | xx, | T, | xx, | M, | xx, | N, | xx, | K, | i, | \* hh | <CR> <LF> |

1. Напрямок курсу в градусах, T
2. Напрямок курсу в градусах, T
3. Магнітне відхилення в градусах, М
4. Магнітне відхилення в градусах, М
5. Швидкість над поверхнею (SOG) в вузлах, N = вузли
6. Швидкість над поверхнею (SOG) в вузлах, N = вузли
7. Швидкість над поверхнею (SOG) в км / год, К = км / год
8. Швидкість над поверхнею (SOG) в км / год, К = км / год
9. Контрольна сума рядка (обов'язково)
10. Контрольна сума рядка (обов'язково)

*Приклад повідомлення: $ GPVTG, 217.5, T, 208.8, M, 000.00, N, 000.01, K \* 4C***ZDA - час і дата**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |  |
| $ GPZDA, | hhmmss.s, | xx, | xx, | xxxx, | xx, | xx | \* hh | <CR> <LF> |

1. час UTC
2. День (01до 31)
3. Місяць (01 to 12)
4. рік
5. Часовий пояс, зміщення від GMT, від 00 до ± 13 годин
6. Часовий пояс, зміщення від GMT, хвилини
7. hh Контрольна сума рядка

Приклад повідомлення: $ GPZDA, 172809,12,07,1996,00,00 \* 45

1. **ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ**
   1. Ознайомитись з форматом основних повідомлень протоколу NMEA-0183.
   2. Виконати підключення GPS-апаратури
   3. Виконати запуск програмного забезпечення Novatell
   4. Виконати ініціалізацію обладнання.
   5. Отримати основні повідомлення від GPS-апаратури в форматі NMEA-0183.

**3. ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Які вхідні дані потрібні для вирішення навігаційного завдання?

2. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників одного сузір'я потрібно для вирішення навігаційного завдання?

3. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників двох сузір'їв потрібно для вирішення навігаційного завдання?

4. Яким чином визначається псевдодальностей до навігаційного супутника?

5. Чому при збільшенні псевдодальностей до супутників, які беруть участь в навігаційної задачі, на одну й ту ж саму величину позиція координат не змінюється?

6. Як визначається просторовий геометричний фактор (PDOP)?

7. Які початкові умови можуть бути при вирішенні навігаційної задачі?

1. **ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**

1. Гофман-Веленгоф Б. Лихтенегер Г. Глобальная система супутникової навігації. Теорія і практика. Київ: Наукова думка, 1996

2. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. М: Горячая линия – Телеком, 2005, 272с.

3. Шебшевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь. 1986

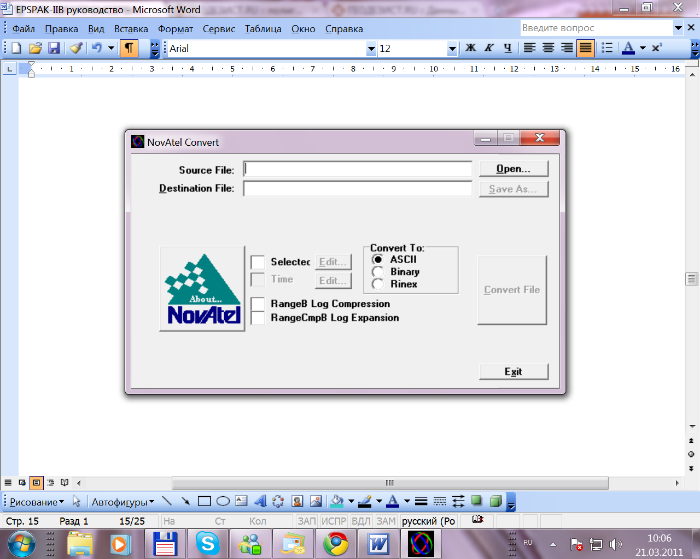
# **Практичне заняття №12**

# **ФОРМАТ ОСНОВНИХ ОСНОВНИХ ФАЙЛІВ ПРОТОКОЛУ RINEX**

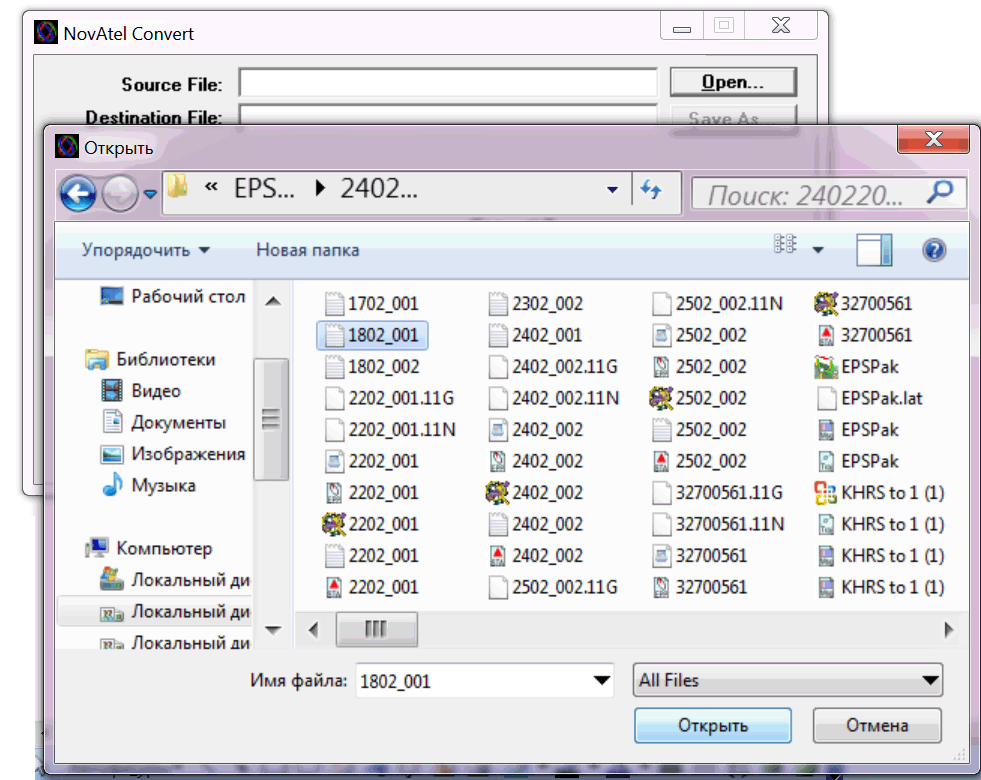
**Мета роботи**: Вивчення формату основних файлів протоколу RINEX.

**1. Теоретичне введення**

Для конвертації вимірювальних даних в RINEX запустіть службову програму Convert4 (Шлях до утиліти «Пуск - Програми - NovAtel PC Software - Convert4»):

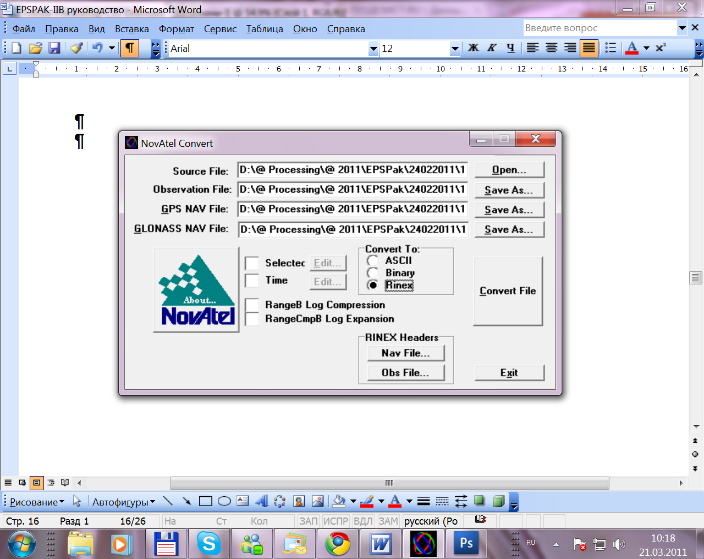


Виберіть шлях до файлу, який необхідно конвертувати (файл з розширенням \* .gps), попередньо обравши в віконці «формат / тип файлу» - **All files** і натисніть кнопку Open.





Після цього відзначте в віконці, що з'явилося утиліти Convert4 позицію RINEX:



У віконцях навпроти кнопок Save As з'являться назви вихідних RINEX файлів і шлях до них. Перевірте правильність і якщо необхідно змініть назви і шляхи збереження файлів. Якщо у Вас приймач реєструє тільки GPS дані, то на файл з розширенням \* .ХХG (ХХ - поточний рік) можна не звертати уваги, він буде порожнім.

При необхідності (необов'язково) можна налаштувати коментарі в заголовках RINEX файлів спостережень і навігаційних натисканням в позиції RINEX Header кнопок Nav File і Obs File. Наприклад, в Obs File можна ввести тип антени і висоту антени, маркер точки і ін. Дані. Приклад налаштування заголовка RINEX файлу представлений на рис. 3.6.

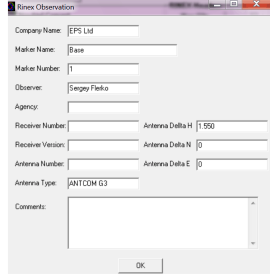


Рис. 3.6.

При подібному заповненні заголовка RINEX файлу спостережень заголовок файлу буде виглядати наступним чином:

2.10 OBSERVATION DATA G (GPS) RINEX VERSION / TYPE

Convert EPS Ltd 21-Mar-2011 14:49 PGM / RUN BY / DATE

Signal Strength values ​​S1, S2 are in dBHz COMMENT

**Base** MARKER NAME

**1** MARKER NUMBER

**Sergey Flerko** OBSERVER / AGENCY

BHD10070816 NOV LXMS L6X010101RN0000 REC # / TYPE / VERS

**ANTCOM G3** ANT # / TYPE

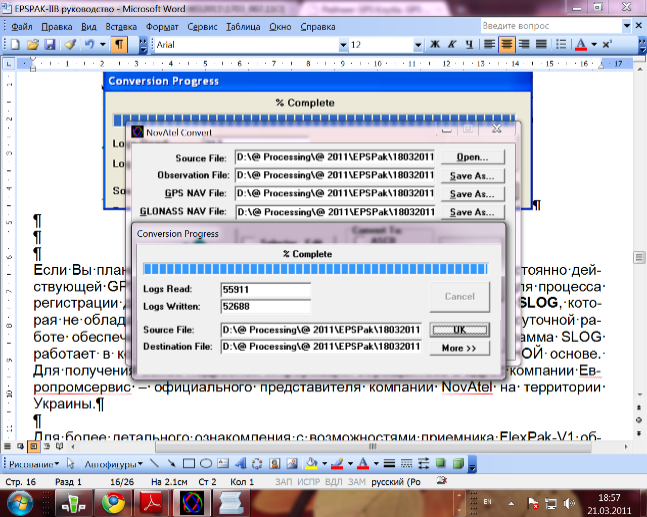
3313614.4912 2430044.5274 4861844.9964 APPROX POSITION XYZ

**1.5500** 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H / E / N

1 0 WAVELENGTH FACT L1 / 2

В заповнення заголовка RINEX файлів виконувати необов'язково, всі зазначені дані можна внести на етапах пост-обробки вимірювань в спеціалізованій програмі.

Для старту процесу конвертації натисніть кнопку Convert File. Закінчення процесу конвертації файлу показується таким вікном:



1. **ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ**
   1. Ознайомитись з форматом основних повідомлень протоколу NMEA-0183.
   2. Виконати підключення GPS-апаратури
   3. Виконати запуск програмного забезпечення Novatell
   4. Виконати ініціалізацію обладнання.
   5. Створити файл вимірювань з використанням приймача EPSPak-I

**3. ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Які вхідні дані потрібні для вирішення навігаційного завдання?

2. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників одного сузір'я потрібно для вирішення навігаційного завдання?

3. Яку мінімальну кількість навігаційних супутників двох сузір'їв потрібно для вирішення навігаційного завдання?

4. Яким чином визначається псевдодальностей до навігаційного супутника?

5. Чому при збільшенні псевдодальностей до супутників, які беруть участь в навігаційної задачі, на одну й ту ж саму величину позиція координат не змінюється?

6. Як визначається просторовий геометричний фактор (PDOP)?

7. Які початкові умови можуть бути при вирішенні навігаційної задачі?

1. **ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА**

1. Гофман-Веленгоф Б. Лихтенегер Г. Глобальная система супутникової навігації. Теорія і практика. Київ: Наукова думка, 1996

2. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. М: Горячая линия – Телеком, 2005, 272с.

3. Шебшевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь. 1986