

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
д-р техн. наук, проф.
_____ В.Ю. Ларін
«__» _____ 2023 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«СИСТЕМИ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ»

Тема: «Оцінка зміни радіонавігаційних параметрів впродовж сеансів
спостереження навігаційних супутників»

Виконав: _____ **А.Т. Романюк**

Керівник: к.т.н., доцент _____ **О.С. Погурельський**

Нормоконтролер, д.т.н., проф. _____ **Т.Ф. Шмельова**

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

Освітня ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма «Системи аеронавігаційного обслуговування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, проф.

_____ В.Ю. Ларін

«___»_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Романюка Андрія Тарасовича

1. Тема дипломної роботи: «Оцінка зміни радіонавігаційних параметрів впродовж сеансів спостереження навігаційних супутників» затверджена наказом ректора від 22.08.2023 р. № 1443/ст.
2. Термін виконання роботи: з 23.10.2023 по 31.12.2023
3. Вихідні дані до роботи: тактико-технічні характеристики існуючих радіонавігаційних систем, інтерфейсні контрольні документи супутникових навігаційних систем, програмні компоненти в пакеті MatLab розробки лабораторії супутникових навігаційних систем, керівництва корситувача приймально обладнання супутникової навігації.
4. Зміст пояснювальної записки:
Вступ, аналітичний огляд фізики явища ефекту Доплера та принципів роботи навігаційних і радіолокаційних пристроїв, які основані на його використанні. Огляд складу та принципу роботи супутникової навігаційної системи першого покоління Transit. Опис методики дослідження, яка може бути застосована для оцінки зміни радіонавігаційних параметрів – псевдодальності, частоти Доплера та відношення сигнал/шум в діючих системах супутникової навігації. Графічні результати експериментальних досліджень. Висновки.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: використовуються ілюстративні зображення з мережі Інтернет, графічні результати зміни спостережуваних радіонавігаційних параметрів впродовж сеансів запису навігаційних даних, презентаційні матеріали, оформлені з використанням Power Point.

6. Календарний план–графік

| № пор. | Завдання | Термін виконання | Відмітка про виконання |
|--------|--|------------------------|------------------------|
| 1 | Обґрунтування напрямку та актуальності дослідження. | 23.10.23 – 08.11.23 | |
| 2 | Огляд фізичних основ ефекту Доплера . | 09.11.23 – 20.11.23 | |
| 3 | Розробка методики дослідження оцінки зміни навігаційних параметрів. | 05.10.23 – 15.11.23 | |
| 4 | Накопичення експериментальних даних та їх обробка програмними засобами | 16.11.23 – 01.12.23 | |
| 5 | Оформлення пояснювальної записки та супровідних документів. | 02.12.23 – 16.12.23 | |
| 6 | Підготовка презентації. | 17.12.23 – 21.12.23 р. | |

7. Дата видачі завдання: "25" жовтня 2023 р.

Науковий керівник _____ Олексій ПОГУРЕЛЬСЬКИЙ

Прийняв до виконання _____ Андрій РОМАНЮК

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи магістра «Оцінка зміни радіонавігаційних параметрів впродовж сеансів спостереження навігаційних супутників»: 86 с., 72 рис., 2 табл., 24 джерела.

Мета дослідження: виконання оцінки зміни радіонавігаційних параметрів сигналів супутникових навігаційних систем на основі обробки результатів їх спостереження.

Об'єкт дослідження: супутникові радіонавігаційні системи.

Предмет дослідження: параметри навігаційних сигналів псевдовідстань, доплерівська частота, відношення сигнал/шум.

У першому розділі виконується аналітичний огляд теоретичних положень про фізику явища доплерівського зсуву частоти радіосигналів, наводяться приклади його використання в радіонавігаційних та радіолокаційних пристроях.

У другому розділі виконується огляд структури та принципу роботи першого покоління супутникових навігаційних систем, на прикладі система розробки США - Transit.

У третьому розділі наводиться опис обраної методики дослідження, перераховується склад і можливості спеціалізованого програмного комплексу в пакеті MatLab та аналізуються одержані з його допомогою результати обробки масивів експериментальних даних, в які записані спостереження за дальністю, відношенням сигнал/шум та доплерівською частотою .

У четвертому розділі виконується оцінка ефективності розробки технічної системи за двома потенційно можливими варіантами.

П'ятий розділ присвячено питанням охорони навколишнього середовища та безпеки праці при роботі з електронно-обчислювальною технікою.

РАДІОНАВІГАЦІЯ, РАДІОНАВІГАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ, СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ, ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ | 8 |
| | |
| РОЗДІЛ 1. ЕФЕКТ ДОПЛЕРА | 10 |
| 1.1 Опис ефекта Доплера | 10 |
| 1.2 Використання ефекту Доплера в радіонавігаційних та радіолокаційних пристроях | 16 |
| 1.3 Принцип дії Доплерівського VOR | 22 |
| 1.4 Навігаційні пристрої | 24 |
| Висновки до розділу 1..... | 27 |
| | |
| РОЗДІЛ 2. СУПУТНИКОВА НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА TRANSIT | 28 |
| 2.1 Опис системи TRANSIT | 28 |
| 2.2 Характеристики системи TRANSIT..... | 31 |
| 2.3 Переваги та недоліки системи TRANSIT..... | 34 |
| 2.4 Застосування системи TRANSIT..... | 36 |
| 2.5 Еволюція методів визначення координат користувача засобами супутникових навігаційних систем | 38 |
| Висновки до розділу 2 | 42 |
| | |
| РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЗМІНИ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ..... | 43 |
| 3.1 Псевдодальність до навігаційних супутників..... | 43 |
| 3.2 Доплерівська частота..... | 58 |
| 3.3 Відношення сигнал/шум..... | 62 |
| Висновки до розділу 3 | 67 |

| | |
|--|-----------|
| РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ОБРОБКИ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ | 68 |
|--|-----------|

| | |
|--|-----------|
| РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА..... | 72 |
| 5.1 Розрахунок освітленості робочої зони..... | 72 |
| 5.2 Пожежна та вибухова безпека..... | 77 |
| 5.3 Інструкція з охорони праці для персоналу, робочі місця які обладнані персональними комп'ютерами | 81 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 83 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 85 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ASCII – American Standard Code for Information Interchange – американський стандартний код для інформаційного обміну

CDMA – Code Division Multiple Access – множинний доступ з кодовим розділенням каналів

C/N – співвідношення сигналу до шуму

DOP – dilution of precision – погіршення точності

ECEF – Earth-centered, Earth-fixed coordinate system – геоцентрична система координат

GDOP – geometric dilution of precision – геометричне фактор погіршення точності

GEO – geostationary orbit – геостаціонарна орбіта

GPS – Global Positioning System – глобальна система позиціонування

GNSS – глобальні навігаційні супутникові системи

HDOP – horizontal dilution of precision – горизонтальне погіршення точності

HF – High Frequency – висока частота

LEO – low Earth orbit – низька навколоземна орбіта

MEO – Mean Earth Orbit – середня навколоземна орбіта

NCC – network control center – центр управління мережею

PDOP – position (3D) dilution of precision – позиційне погіршення точності

PNT – Position, Navigation, and Timing – Позиціонування, навігація та час

SATCAT – Satellite Catalog – каталог супутників

SoC – streets of coverage – сузір'я з вуличним покриттям

TDOP – time dilution of precision – часове погіршення точності

UHF – Ultra high frequency – надвисока частота

VDOP – vertical dilution of precision – вертикальне погіршення точності 9

VHF – very high frequency – дуже висока частота

ГНСС – глобальна навігаційна супутникова систем

МКС – Міжнародна космічна станція

НС – наземна станція

СНС – супутникова навігаційна система

ПЗ- 90 – відносна геоцентрична система координат

РОЗДІЛ 1. ЕФЕКТ ДОПЛЕРА

В розділі виконується огляд фізичних основ явища зміни частоти радіосигналів при взаємному русі джерела та приймача радіосигналів. Виконується порівняння з аналогічними явищами для акустичних хвиль та електромагнітних коливань видимого діапазону. Наводяться приклади використання цих явищ в радіонавігаційних та радіолокаційних пристроях.

1.1 Опис ефекта Доплера

Ефект Доплера - це зміна звукової або світлової частоти внаслідок руху джерела і спостерігача одне відносно одного. Цей ефект отримав свою назву на честь австрійського фізика Крістіана Доплера, який в 1842 році висунув свою теорію.

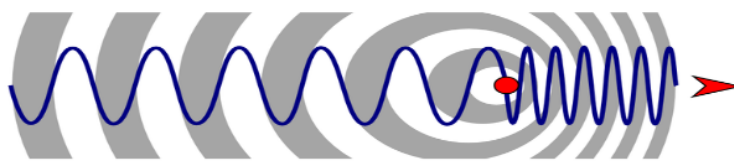
Ефект Доплера - це видима зміна частоти або висоти звуку, коли джерело звуку рухається до слухача або від нього, або коли слухач рухається до джерела звуку або від нього.

Видима зміна частоти між джерелом хвилі і приймачем хвилі відбувається через відносний рух між джерелом і приймачем. Щоб зрозуміти ефект Доплера, спочатку припустимо, що частота звуку від джерела залишається постійною. Довжина хвилі звуку також залишиться постійною. Якщо джерело і приймач звуку залишаються нерухомими, приймач почує звук тієї ж частоти, що й джерело. Це відбувається тому, що приймач отримує таку саму кількість хвиль за секунду, яку виробляє джерело. Тепер, якщо джерело або приймач, або обидва рухаються назустріч один одному, приймач сприйматиме звук більш високої частоти. Це відбувається тому, що приймач отримує більшу кількість звукових хвиль в секунду і інтерпретує більшу кількість хвиль як звук вищої частоти. І навпаки, якщо джерело і приймач віддалені один від одного, приймач отримуватиме меншу кількість звукових хвиль за секунду і сприйматиме звук нижчої частоти. В обох випадках частота звуку, виробленого джерелом, залишиться незмінною.

Таким чином наявний ефект зміни однієї з характеристик хвилі – її частоти при фіксації (оцінці) цього параметру користувачем, що перебуває у відносному русі до передавача цієї хвилі. Якщо частота є радіонавігаційним параметром, то характер і величина її зміни можуть бути використані для одержання інформації про цей рух.

Фізична суть явища ефекту Доплера

Ефект Доплера - фізичне явище, яке виникає, коли приймач і джерело хвиль мають відносний рух, викликаючи зміну частоти приймача відносно частоти джерела. Названий на честь австрійського фізика Крістіана Доплера (1803-1853), який описав і пояснив це явище в 1842 р.



Ефект Доплера виникає у всіх типах хвиль, від світла до звуку, поки джерело та приймач рухаються відносно один одного. Коли відстань між джерелом гармонічної хвилі та приймачем залишається фіксованою, до приймача надходить однакова кількість коливань за одиницю часу. Однак, коли приймач наближається до джерела з фіксованою швидкістю, імпульси надходять частіше. І навпаки, коли приймач віддаляється з фіксованою швидкістю від джерела: хвилі коливання сприймаються з меншою частотою.

Рис. 1.1 – Пояснення фізики ефекту Доплера

У випадку звуку, ефект Доплера проявляється у зміні тону звуку при русі джерела звуку та слухача одне відносно одного. Якщо джерело і спостерігач наближаються одне до одного, звукові хвилі стискаються, що призводить до збільшення частоти (і, отже, тону) звуку. Якщо вони віддаляються, хвилі розтягуються, що призводить до зменшення частоти і більш низького тону.

Для світла ефект Доплера виявляється у зміні кольору. Якщо джерело світла і спостерігач рухаються одне до одного, світлові хвилі стискаються, і колір зсувається в бік коротших хвиль (до синього кінця спектра). Якщо вони віддаляються одне від одного, хвилі розтягуються, і колір зсувається в бік довших хвиль (до червоного кінця спектра).

На наступній візуалізації праворуч розташовано зелене джерело імпульсів, які ним відправляються з постійною частотою в напрямку синього приймача. Частота відправки імпульсів дорівнює частоті їх прийому



Розглянемо зміну яка відбудеться яка джерело імпульсів починає рухатись в напрямку приймача. Візуально видимі менші проміжки між імпульсами, а частота їх прийому збільшилась. На цій візуалізації швидкість руху передавача дорівнює $\frac{1}{2}$ швидкості імпульсів. Це призвело до частоти прийому $\frac{3}{2}$ від початкової, тобто її збільшення у 1.5 рази. Тобто частота прийому змінилась (змістилась), тому ефект Доплера часто називають доплерівським зсувом.



Поглянемо уважно на процес випромінювання імпульсів у випадку статичного положення (зліва) передавача та його руху (зправа).

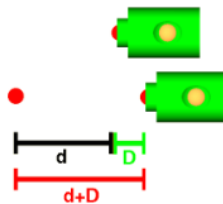


Рис. 1.2 Пояснення шляхом заміни хвиль на окремі імпульси і частоти коливання на частоту фіксації одержання імпульсів (випадок 1 – рух назустріч)

Якщо у випадку взаємного зближення джерела імпульсів та приймача відбулось збільшення частоти в точці прийому, то у випадку взаємного віддалення спостерігаємо наступний процес:



Фіксація імпульсів приймачем відбувається повільніше (з меншою частотою), а інтервал між сусідніми імпульсами став більшим. Це пояснюється аналогічно до попередньої ситуації, що за період між імпульсами внаслідок руху збільшується відстань яку має пройти наступний імпульс до величини $d+D$. А збільшення відстані в свою чергу означає що вони поступатимуть на приймач рідше (з меншою частотою).



Отже при такому русі, коли відстань між передавачем та приймачем зростає доплерівський зсув частоти призводить до збільшення частоти прийому відносно частоти випромінювання.

Рис. 1.3 Пояснення шляхом заміни хвиль на окремі імпульси і частоти коливання на частоту фіксації одержання імпульсів (випадок 2 – рух один від одного)

Якщо у використаних візуалізаціях замінити рух передавача імпульсів на рух приймача відносно нього, то характер явища ефекту Доплера при цьому не зміниться. Отже вирішальним є не те що саме переміщується передавач чи приймач, а їх взаємна швидкість - зближення чи віддалення одне від одного.



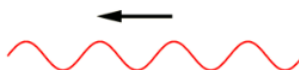
Зближення - частота при прийомі більше за частоту передачі



Віддалення - частота при прийомі менша за частоту передачі

Рис. 1.4 Ключовим є взаємний рух

У використаних візуалізаціях відправку імпульсів можна замінити гармонійним коливанням (яким є в тому числі і електромагнітна хвиля). Для фіксації піків або мінімумів в точці прийому спостерігатимуться аналогічні явища зміни частоти, викликані ефектом Доплера.



Для звукової хвилі найвідомішим прикладом прояву ефекту Доплера є зміна тону звукового сигналу, наприклад сирени автомобіля під час його наближення до спостерігача і наступного віддалення від нас:

Посилання на аудіо (не лякайтесь, тривога навчальна):

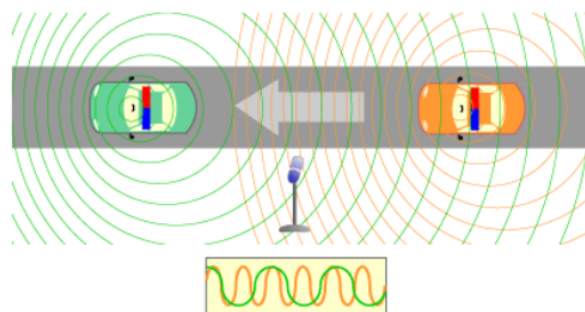
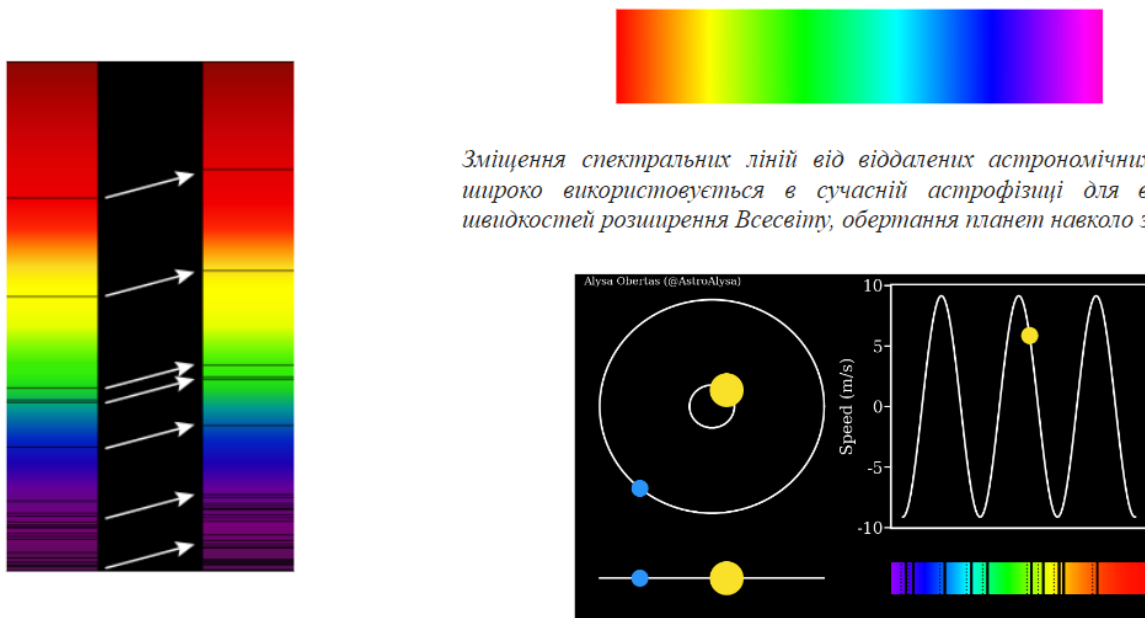


Рис. 1.5 Повернення від концепції імпульсів до хвиль

Ефект Доплера широко використовується в науці та техніці, включаючи астрономію (дослідження руху зір та галактик), медицину (доплерівський ультразвук для вимірювання швидкості кровотоку), радіозв'язок та багато інших областей. Зокрема, на рис. 1.6 приведена інформація про використання ефекту Доплера в астрофізичних дослідженнях, які виконуються для віддалених від нас об'єктів глибокого космосу.

Оскільки видимий спектр також є частиною діапазону електромагнітних коливань, то на нього розповсюджується ефект доплерівського зсуву, який виходячи зі зміни кольору у відповідну сторону має назву червоного або блакитного зміщення спектру.



Зміщення спектральних ліній від віддалених астрономічних об'єктів широко використовується в сучасній астрофізиці для визначення швидкостей розширення Всесвіту, обертання планет навколо зірок.

Рис. 1.6 Використання ефекту Доплера в астрофізичних дослідженнях

Також це явище характерне не лише для радіохвиль, а воно має абсолютно подібну природу і прояви для інших типів хвиль.

Для звуку:

Приближення: Коли джерело звуку або слухач рухаються одне до одного, хвилі стискаються, що призводить до збільшення частоти і, отже, до вищого тону.

Віддалення: Якщо джерело і слухач віддаляються одне від одного, хвилі розтягуються, і частота зменшується, створюючи більш низький тон.

Для світла:

Приближення: Коли джерело світла і спостерігач наближаються одне до одного, світлові хвилі стискаються, викликаючи зміщення кольору в бік коротших хвиль (до синього кінця спектра).

Віддалення: Якщо вони віддаляються, хвилі розтягуються, і колір зміщується в бік довших хвиль (до червоного кінця спектра).

Застосування:

Астрономія: Використовується для вивчення руху зір і галактик (рис. 1.6).

Медицина: Застосовується в доплерівському ультразвуці для вимірювання швидкості кровотоку.

Технології зв'язку: Має значення в радіозв'язку, де ефект Доплера використовується для зміни частоти передаваних сигналів.

Математичні описи для різних за природою хвиль мають вигляд наступних формул:

Для звуку: $f' = f \cdot \frac{v+v_0}{v-v_0}$, де : f' - спостережена частота, f - початкова частота, v - швидкість звуку, v_0 - відносна швидкість між джерелом і спостерігачем.

Для світла: $f' = f \cdot \frac{c+v}{c-v}$, де c – швидкість світла

Формула для визначення частоти в точці прийому:

Observed frequency

$$f = \left(1 + \frac{\Delta v}{c}\right) f_0$$

Δv - швидкість (позитивна - при зближенні)
 f_0 - частота передачі

Доплерівський зсув (зміна) частоти:

Change in frequency

$$\Delta f = \frac{\Delta v}{c} f_0$$

$$\Delta f = f - f_0$$

$$\Delta v = v_{\text{receiver}} - v_{\text{source}}$$

Рис. 1.7 Математичні вирази для визначення спостережуваної частоти та величини абсолютної зміни частоти відносно початкової.

Ефект Доплера відіграє важливу роль в різних галузях науки і техніки, надаючи можливість реалізовувати методи вимірювання швидкостей об'єктів і розуміння їх руху в умовах значної відстані від точки спостереження, наприклад в космосі, а також він знаходить своє застосування і в технологія, що більш дотичні до нашого земного життя, наприклад у медичних дослідженнях різного спрямування, а також в сучасних комунікаційних системах.

1.2 Використання ефекту Доплера в радіонавігаційних та радіолокаційних пристроях

Виконаний в попередньому підрозділі огляд дозволяє констатувати можливість використання зміни параметру радіохвилі від рухомого джерела для визначення параметрів його руху (швидкості), або при відомому характері руху передавача – визначення характеру руху приймача.

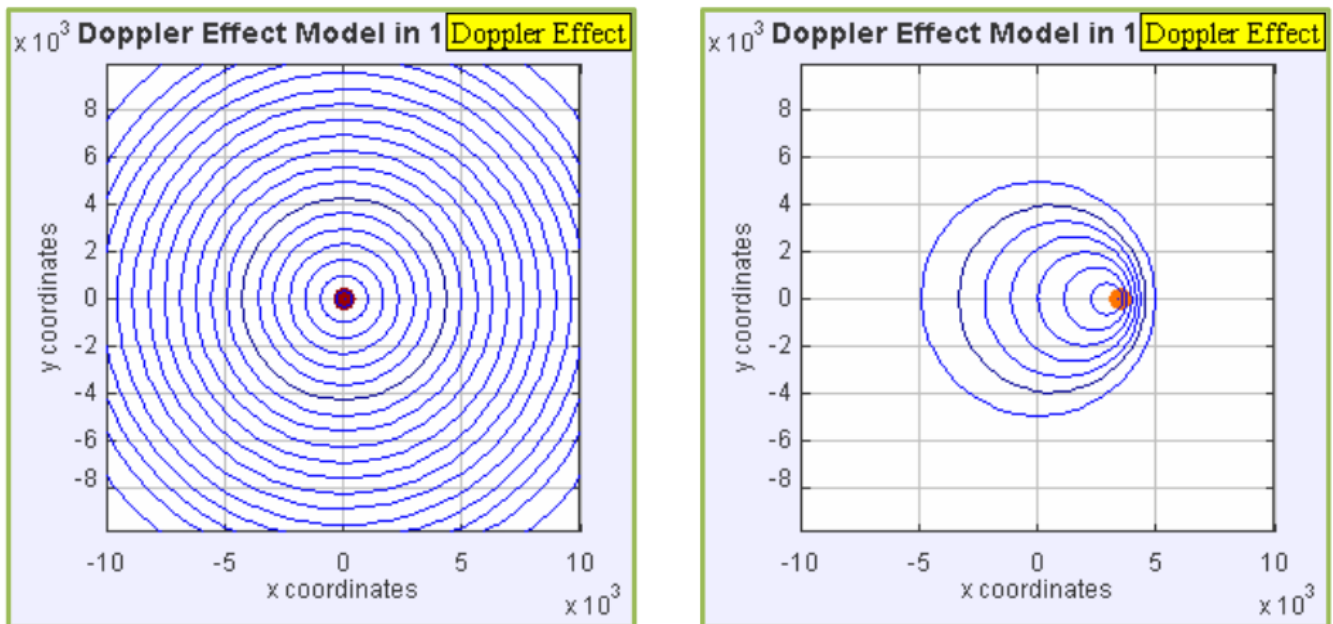


Рис. 1.8 Візуалізація для порівняння різниці прояву ефекта в статичному та динамічному положенні передавача в заданій області (системі координат)

У польоті ефект Доплера також має суттєве значення. Головним чином він використовується для вимірювання швидкості повітряних суден, таких як літаки. Ось, як він працює в цьому контексті:

Радіолокаційні системи:

- В аеронавігації використовують радіолокаційні системи, які можуть використовувати ефект Доплера для вимірювання швидкості цілі.
- Радіохвилі, випромінювані радіолокаційним обладнанням, відбиваються від цілі (наприклад, іншого повітряного судна).
- Зміна частоти відбитих хвиль пов'язана зі зміною швидкості цілі відносно радару, що дозволяє визначити її швидкість та напрямок руху.

Польотні режими:

- У процесі польоту ефект Доплера впливає на звукові хвилі, створювані двигунами літака.

- На землі звукові хвилі поширюються в статичній атмосфері, але при русі повітряного судна вони піддаються впливу ефекту Доплера, що може впливати на сприйняття звуку як для спостерігачів на землі, так і для пасажирів всередині літака.

Інші застосування:

- В авіаційних комунікаційних системах ефект Доплера також враховується при передачі та прийомі радіосигналів.

- У деяких випадках, наприклад, при розробці систем автопілоту, вимірювання ефекту Доплера може бути використано для точної корекції курсу та підтримання стабільності польоту.

Ефект Доплера в авіації є важливим елементом технологій, які забезпечують безпеку та ефективність повітряного руху.

Давайте розглянемо ще кілька аспектів ефекту Доплера в авіації:

1. Доплерівський вимірник швидкості:

- Для вимірювання швидкості повітряних суден використовують доплерівські радіолокаційні системи.

- Ці системи можуть визначити зміну частоти відбитих радіохвиль від цілі і, отже, розрахувати швидкість з високою точністю.

- Це важливо для забезпечення безпеки повітряного руху та запобігання зіткненням.

2. Доплерівський альтиметр:

- В авіації застосовують доплерівські альтиметри для вимірювання висоти політів повітряних суден.

- Ці пристрої використовують принцип зміни частоти радіохвиль, відбитих від поверхні Землі, для точного визначення висоти польоту.

3. Звуковий бар'єр та сверхзвуковий політ:

- Ефект Доплера також спостерігається при сверхзвуковому політі, коли повітряне судно перевищує швидкість звуку.

- Пілоти можуть сприймати ударну хвилю, яка створює конденсацію вологи в повітрі навколо повітряного судна, як "звуковий вибух".

- Ефект Доплера в цьому випадку впливає на звук, який чують спостерігачі на землі.

4. Доплерівський ефект в навігаційних системах:

- Сучасні системи навігації та автопілоту повітряних суден враховують ефект Доплера при визначенні координат, курсу та швидкості.

Радіонавігаційні та радіолокаційні системи здійснюють обробку радіонавігаційної і радіолокаційної інформації і відносяться до широкого класу інформаційних радіосистем.

При цьому більшість РНС і РЛС є радіосистемами одержання інформації, в тому розумінні що вони з прийнятих радіосигналів одержують корисну інформацію про радіонавігаційні та радіолокаційні об'єкти.

Здійснюючи обробку цієї інформації ці системи з прийнятих радіосигналів розв'язують радіонавігаційні та радіолокаційні задачі, основними з яких є:

- виявлення об'єктів
- вимірювання координат та параметрів руху
- роздільне виявлення об'єктів
- розпізнавання об'єктів

Рис. 1.9 Порівняння по основним функціям радіолокаційних та радіонавігаційних систем

- Це особливо важливо для точного позиціонування в тривимірному просторі та забезпечення безпеки польотів.

5. Авіаційні радіосистеми:

- Ефект Доплера впливає на радіосигнали в авіаційних комунікаційних системах.

- Корекція Доплера вбудована в радіосистеми для забезпечення стабільного зв'язку між повітряними суднами та землею під час польоту.

Загальна тенденція в авіації — це інтеграція технологій, які враховують ефект Доплера, для забезпечення безпеки польотів, оптимізації управління та підвищення ефективності та комфорту повітряних перевезень.

В сучасній авіації ефект Доплера знаходить застосування в різноманітних технологіях та системах, забезпечуючи безпеку, ефективність та точність авіап перевезень. Ось кілька областей, де використовується ефект Доплера:

1. Радіолокаційні системи:

Сучасні радары повітряних суден використовують доплерівські ефекти для вимірювання швидкості та напрямку руху інших об'єктів у небі.

Радіосистеми одержання інформації, і в першу чергу радіолокаційні, в залежності від походження прийнятого радіосигналу поділяють на активні та пасивні.

В активних радіосистемах інформація виділяється з радіосигналів, одержаних в результаті опромінення об'єкта зондуючим електромагнітним коливанням - зондуючим сигналом - та прийому віддзеркаленої від об'єкта енергії. Тому до складу активної радіосистеми входить радіопередавальний пристрій (передавач), передавальна антена та радіоприймальний пристрій (приймач).

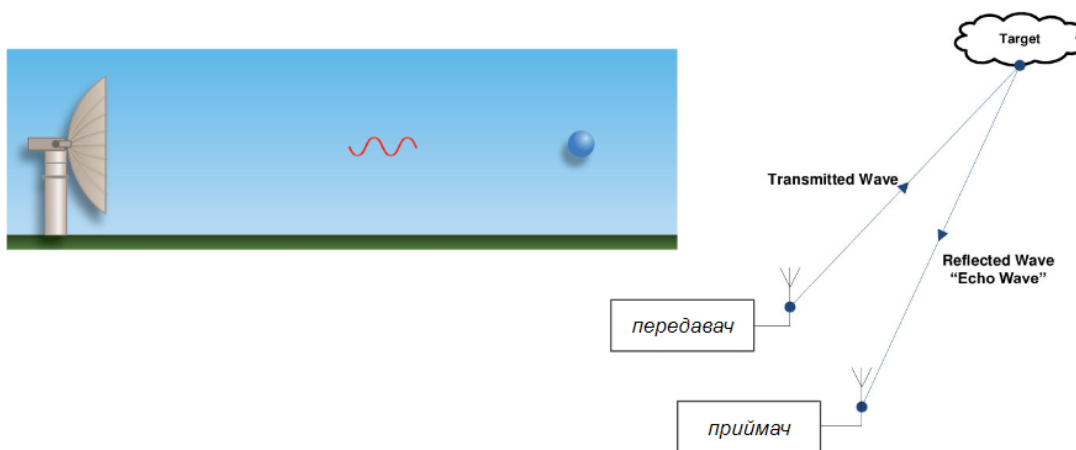


Рис. 1.10 Принцип дії активних радіолокаційних систем

Це важливо для виявлення інших повітряних суден, запобігання зіткненням та забезпечення безпеки польотів.

Для радіолокаційних систем основними характеристиками є наступні:

Виявлення, яке полягає у прийнятті рішення про наявність чи відсутність об'єкта в даній частині простору.

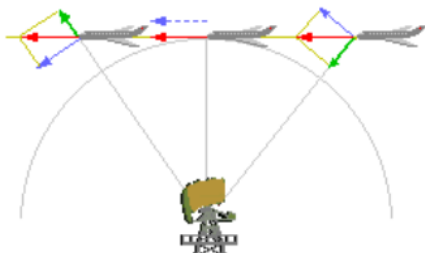
Вимірювання координат та параметрів руху полягає в одержанні оцінок координат об'єктів та їх похідних (швидкості, прискорення). При цьому число і вид координат, які можуть бути визначені, залежить від призначення РНС та РЛС та обраної системи координат, в якій відбувається визначення місцеположення об'єкта.

Роздільна здатність характеризує можливість роздільного спостереження цілей, які відрізняються значенням однієї з координат або швидкістю руху.

Розпізнавання, яке полягає у встановленні приналежності об'єкта до певного класу.

Метод вимірювання швидкості на основі визначення доплерівського зсуву частоти

Вимірювання радіальної швидкості руху об'єкта можливе методом визначення доплерівського зсуву частоти сигналу, який приймається. Уявімо що приймач розташований нерухомо (стаціонарно), а передавач радіохвиль переміщується і $R(t)$ - це відстань між ними в момент t .



Радіальна швидкість $V_R = \dot{R}(t)$ є проекція вектору швидкості руху передавача на лінію "передавач-приймач".

Рис. 1.11 Метод вимірювання швидкості на основі визначення доплерівського зсуву частоти

Частота f сигналу що приймається зміщена відносно частоти f_0 внаслідок ефекту Доплера на частоту

$$f_d = -f_0 V_R / c$$

Звідси радіальна швидкість: $V_R = -c / f_d$

Для визначення радіальної швидкості необхідно виміряти доплерівський зсув частоти f_d , а для цього в точках передачі та прийому мають бути встановленні високостабільні еталони частоти.

В однопозиційних РЛС необхідності в таких еталонах немає, оскільки передавач та приймач розташовані в одному місці, причому в якості опорного коливання, відносно частоти якого визначається зсув частоти виступає сам сигнал, який випромінюється. Доплерівський зсув частоти подвоюється внаслідок розповсюдження радіохвиль по лінії в прямому і зворотному напрямку:

$$f_d = -2f_0 V_R / c = -2 V_R / \lambda$$

де $V_R = \dot{R}(t)$ - радіальна швидкість цілі, $R(t)$ - похила дальність. При зменшенні дальності її похідна $V_R < 0$ та, відповідно доплерівський зсув $f_d > 0$. При віддаленні цілі від РЛС $V_R > 0$ і тому $f_d < 0$

Рис. 1.12 Математичні вирази для визначення радіальної складової швидкості цілі

Радіальна швидкість

$$V_R = \lambda f_d / 2$$

визначається в результаті вимірювання доплерівського зсуву частоти. Генератор високої частоти формує безперервне немодульоване коливання частоти f_0 . На змішувач приймача поступають прямий сигнал та сигнал $f_0 \pm f_d$, який є результатом відбиття від цілі (знак f_d визначається знаком V_R). В змішувачі утворюється сигнал биття частоти f_d , який через підсилювач поступає на пристрій вимірювання частоти, проградуїований в значеннях радіальної швидкості.

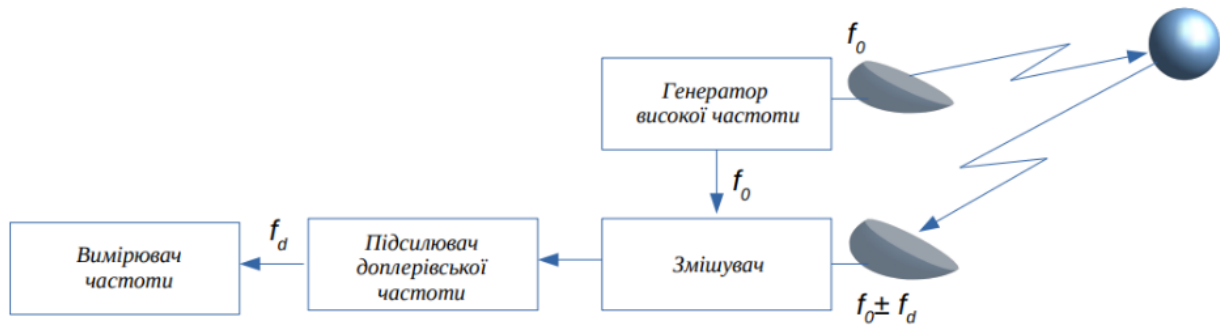


Рис. 1.13 Основні елементи радіолокатора з функцією визначення швидкості цілі

2. Авіаційні радіосистеми:

- Повітряні судна утримують зв'язок з наземними станціями та між собою за допомогою радіозв'язку.
- Доплерівський ефект коригується в радіосистемах для забезпечення стабільного та надійного зв'язку в умовах руху в повітрі.

3. Системи бортової навігації:

- Сучасні бортові системи навігації повітряних суден використовують доплерівські ефекти для точного визначення швидкості, напрямку та висоти польоту.
- Це допомагає в пілотуванні, дозволяючи екіпажу точно слідкувати за параметрами польоту.

4. Доплерівський радіовисотомір:

- Ефект Доплера також застосовується в доплерівських радіовисотомірах для вимірювання висоти польоту.
- Ці пристрої використовують принцип Доплера для точного визначення відстані від повітряного судна до поверхні Землі.

5. Системи вимірювання атмосферних параметрів:

- Ефект Доплера використовується в сенсорах для вимірювання атмосферних параметрів під час польоту, таких як швидкість і напрям вітру.

- Це важливо для прогнозування погодних умов та оптимізації польоту.

6. Системи автопілоту:

- Деякі системи автопілоту враховують дані, отримані за допомогою ефекту Доплера, для точного контролю курсу та стабілізації польоту.

У цілому, ефект Доплера став невід'ємною частиною сучасних авіаційних технологій, забезпечуючи високу точність та надійність у різних аспектах повітряних перевезень.

1.3 Принцип дії Доплерівського VOR

Принцип доплерівського VOR (VHF Omni-directional Range) є основою для функціонування системи навігації повітряних суден, що використовує радіолокаційні сигнали. VOR представляє собою наземну станцію, яка випромінює радіосигнали у всі боки горизонту. Ці сигнали сприймаються бортовим обладнанням повітряного судна, і пілот може використовувати цю інформацію для визначення напрямку на станцію.

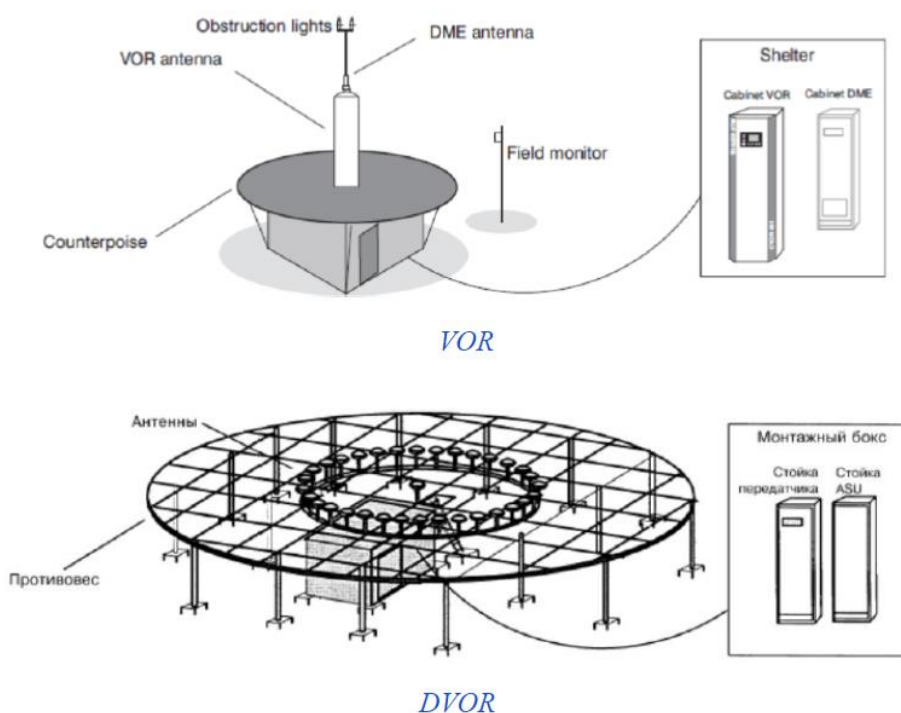


Рис. 1.14 Зовнішній вигляд маяків VOR та DVOR

Принцип доплерівського VOR ґрунтується на ефекті Доплера - зміні частоти звукових чи електромагнітних хвиль, що випромінюються джерелом, при відносному русі джерела та спостерігача. У випадку VOR використовується зміна фази обертаючогося сигнального випромінювача на наземній станції.

Наземна станція VOR має два сигнальні промені, які обертаються навколо осі станції. Ці промені випромінюються на різних частотах, і коли летюче повітряне судно знаходиться за межами центрального радіуса дії станції, воно сприймає різницю в частотах цих променів. Шляхом аналізу цієї різниці в частотах бортове обладнання судна може визначити напрямок на VOR-станцію.

Принцип доплерівського VOR забезпечує високу точність визначення напрямку і дозволяє повітряним суднам навігувати в просторі, спираючись на радіолокаційні сигнали. VOR є важливою частиною системи навігації у цивільній та комерційній авіації. Він забезпечує пілотам надійний та ефективний спосіб орієнтації в просторі при виконанні польотів.

Надзвукова швидкість - це термін, який використовується для опису швидкості, яка перевищує швидкість звуку в повітрі. Швидкість звуку залежить від середовища і температури, а в повітрі при нормальних умовах вона становить приблизно 343 метри на секунду. Таким чином, будь-яка швидкість, яка перевищує це значення, вважається сверхзвуковою.

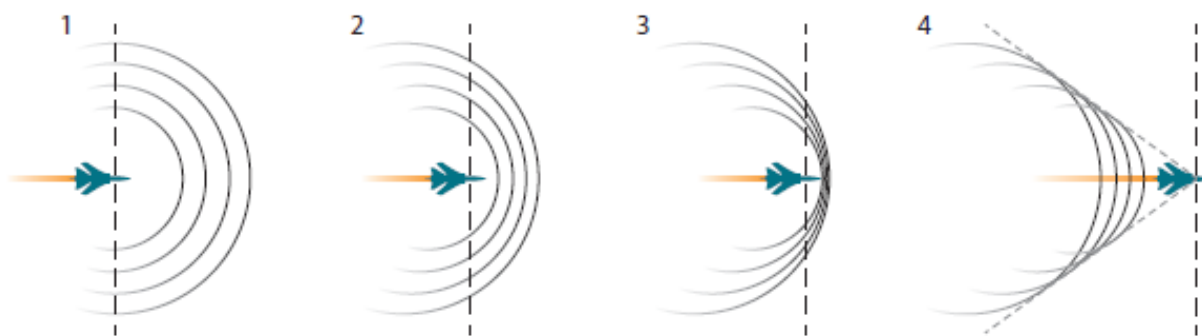


Рис. 1.14 Надзвуковий політ

Надзвуковий політ пов'язаний з ефектами Доплера - фізичним явищем, яке призводить до зміни частоти хвильового сигналу через рух джерела (наприклад,

літака) та спостерігача (наземна станція або інше повітряне судно) один відносно одного. Це явище стає особливо важливим при перевищенні швидкості звуку.

Коли надзвуковий об'єкт рухається, він створює ударну хвилю, відому як ударна хвиля або "звуковий бар'єр". Під час перетинання цієї ударної хвилі можуть виникати великі зміни тиску та температури, що може впливати на оточуюче середовище.

Надзвукова авіація широко використовується для швидких та далеких політів, але при цьому необхідно враховувати особливості динаміки та термодинаміки, пов'язані із сверхзвуковим політом.

1.4 Навігаційні пристрої

Навігаційні пристрої, які використовують ефект Доплера та Доплерівський зсув частоти, часто використовуються для визначення швидкості та напрямку руху об'єктів відносно спостерігача. Цей ефект базується на зміні частоти хвилі, яку випромінює або відбиває об'єкт при його русі відносно спостерігача.

Принцип роботи ґрунтується на тому, що частота хвилі змінюється в залежності від руху джерела хвиль (наприклад, радару) та спостерігача. Якщо об'єкт наближається до спостерігача, частота хвилі збільшується, що називається "голубим зсувом" (або Доплерівським збільшенням частоти). Якщо об'єкт віддаляється від спостерігача, частота хвилі зменшується, що називається "червоним зсувом" (або Доплерівським зменшенням частоти).

Застосування Доплерівського ефекту в навігаційних системах:

1. Радари: Радіолокаційні системи використовують Доплерівський ефект для визначення швидкості та напрямку руху повітряних об'єктів. Це допомагає повітряному руху та військовим службам відстежувати рух літальних апаратів.

2. Доплерівські сенсори в автомобілях: Деякі системи безпеки та водійської допомоги в автомобілях використовують Доплерівський ефект для визначення швидкості та напрямку руху інших транспортних засобів на дорозі.

3. Доплерівські системи навігації: Деякі інерціальні навігаційні системи використовують Доплерівський ефект для точнішого визначення швидкості та переміщення об'єкта.

4. Глонасс та GPS: Деякі навігаційні супутники використовують Доплерівський ефект для точнішого визначення положення та швидкості приймача на землі.

Важливо відзначити, що, хоча Доплерівський ефект широко використовується в навігаційних системах, його ефективність може бути обмежена деякими факторами, такими як зміни частоти через Доплерівський ефект, атмосферні умови та ін. Усі ці фактори повинні враховуватися при розробці та використанні таких систем.

Принцип Доплерівського ефекту:

1. Частотний зсув:

- Коли джерело хвиль або спостерігач рухаються одне відносно одного, спостерігається зміна частоти хвилі.

- Якщо джерело наближається до спостерігача, частота сприйнятої хвилі збільшується.

- Якщо джерело віддаляється від спостерігача, частота сприйнятої хвилі зменшується.

2. Формула Доплера:

- Доплерівський зсув частоти (Δf) можна виразити за допомогою наступної формули:

$$\Delta f = f_0 \left(\frac{v}{v+v_0} \right)$$

де f_0 - початкова частота, v - швидкість звуку або світла (залежно від типу хвиль), v_0 - швидкість руху джерела відносно середовища.

Застосування в навігаційних пристроях:

. Радари:

- Радари використовують доплерівський ефект для вимірювання швидкості цілі. Це особливо важливо в повітряному та морському транспорті, де точне вимірювання швидкості є критичним параметром.

2. Навігаційні системи в транспорті:

- Доплерівські сенсори в автомобілях можуть використовуватися для систем безпеки, таких як системи контролю відстані та попередження про зіткнення.

3. Супутникова навігація (GPS, Глонасс):

- Навігаційні супутники, такі як GPS, використовують доплерівський ефект для точнішого визначення швидкості та координат приймача на землі.

4. Аеронавігація:

- В авіації доплерівський ефект може бути використаний для точного вимірювання швидкості повітряного судна.

5. Інерціальні навігаційні системи:

- Інерціальні навігаційні системи можуть використовувати доплерівський ефект у поєднанні з іншими методами для покращення точності вимірювань швидкості та переміщення.

Обмеження та виклики:

1. Атмосферні умови:

- Зміни щільності атмосфери можуть впливати на доплерівський ефект, що вимагає корекцій для досягнення більш точних результатів.

2. Обробка сигналу:

- Обробка сигналу повинна бути ефективною для виділення доплерівського сигналу серед інших шумів та спотворень.

3. Обмежена відстань:

- Доплерівський ефект, як правило, ефективний на відносно коротких відстанях, і на великих відстанях можуть виникнути труднощі.

Загалом застосування доплерівського ефекту в навігаційних пристроях вимагає ретельної настройки та корекції для врахування різних факторів та забезпечення точності вимірювань за різних умов використання.

Висновки до розділу 1

В першому розділі дипломної роботи виконано аналітичний огляд фізичного явища зміни характеристики радіохвилі, а саме її частоти в умовах взаємного руху передавача та приймача.

Ключовими моментами є те, що визначальним фактором є взаємний рух обох об'єктів – передавача та приймача один відносно другого.

На сьогоднішній день застосування ефекту Доплера відбувається в інформаційних системах одержання даних як про об'єкти і процеси, відстань до яких є дуже значною (як приклад – астрофізичні дослідження), так і в медичних пристроях діагностики та лікування.

В радіонавігаційних та радіолокаційних системах, які використовуються в авіації ефект доплера використовується в активних радіолокаторах для визначення швидкостей цілі, бортових локаторах для визначення швидкості літаків відносно земної поверхні, а також наземному радіотехнічному обладнанні – маяках DVOR для визначення просторового положення літаків в зоні дії цих маяків.

РОЗДІЛ 2. СУПУТНИКОВА НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА TRANSIT

В розділі здійснюється огляд супутникової системи навігації першого покоління, яка була розроблена в 60х роках ХХ століття Сполученими Штатами Америки. Принцип визначення власних координат наземними користувачами передбачав визначення доплерівського зсуву частоти прийнятого супутникового сигналу і використання цієї інформації в сукупності з даними про орбіти супутників системи в необхідний момент часу.

2.1 Опис системи "Transit"

Супутникова навігаційна система "Transit" була однією з перших широкомасштабних супутникових систем навігації, створена для визначення місцезнаходження та навігації об'єктів на Землі. "Transit" була розроблена Сполученими Штатами Америки та вперше запущена в 1960 році.

Основною метою "Transit" було надання точного визначення місцезнаходження підводних човнів, зокрема ядерних підводних човнів, які були важко виявлятися і стежити за ними іншими засобами. Система використовувала низькі орбіти навколо Землі, а супутники "Transit" були розміщені так, щоб забезпечити покриття всієї поверхні планети.

Принцип роботи "Transit" ґрунтувався на вимірюванні часу проліту сигналу між супутником і користувачем на поверхні Землі. Із відомими параметрами орбіти супутника це дозволяло визначити точне місцезнаходження об'єкта на поверхні. Хоча технологія "Transit" була відома своєю ефективністю, з часом вона була придавлена новішими супутниковими навігаційними системами, такими як GPS (Глобальна система позиціонування), яка стала більш точною і доступною широкому колу користувачів. З тих пір "Transit" була виключена з експлуатації, але вона залишається важливою частиною історії розвитку супутникових навігаційних систем.

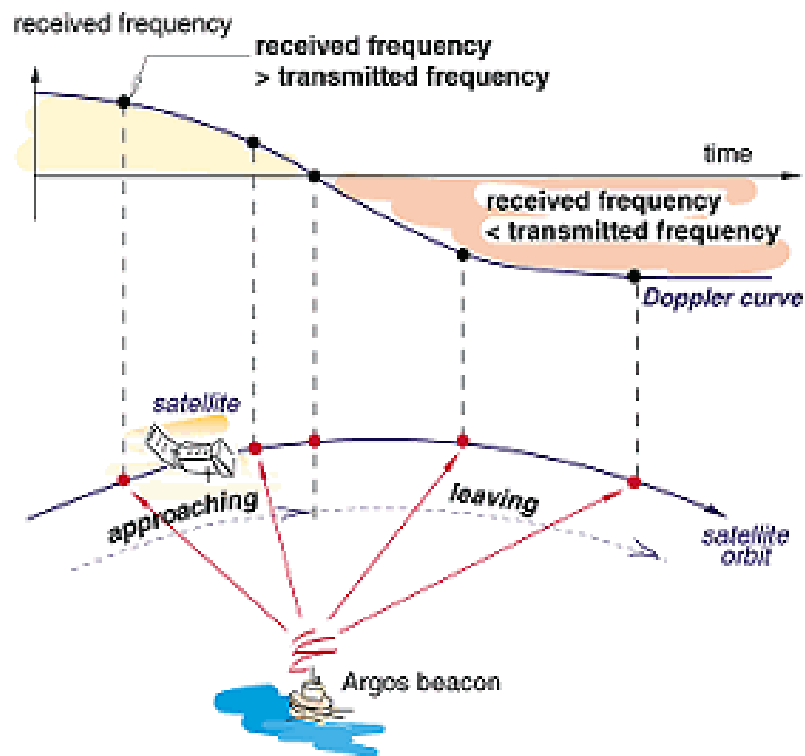


Рис. 2.1 Принцип зміни частоти радіосигналу з супутника внаслідок прояву ефекту Доплера

Історія створення супутникової навігаційної системи "Transit" пов'язана з потребами Сполучених Штатів Америки в розробці ефективних засобів визначення місцезнаходження своїх підводних човнів, зокрема ядерних підводних човнів, під час Холодної війни.

На початку 1950-х років виникла потреба в розробці системи навігації, яка б працювала навіть у водяному середовищі і була малозамітною для потенційного противника. У 1957 році був запущений перший штучний супутник, Спутник-1, радіофіксуючий сигнал якого був використаний для вимірювання швидкості руху об'єкта на поверхні Землі.

Однак справжній прорив стався у 1958 році, коли розпочалася розробка супутникової системи "Transit". Цю ініціативу очолив науковець Драконіс Люїї Ловелл, який працював в Лабораторії прикладних фізичних досліджень Університету Джонса Гопкінса.

TRANSIT SATELLITE NAVIGATION SYSTEM

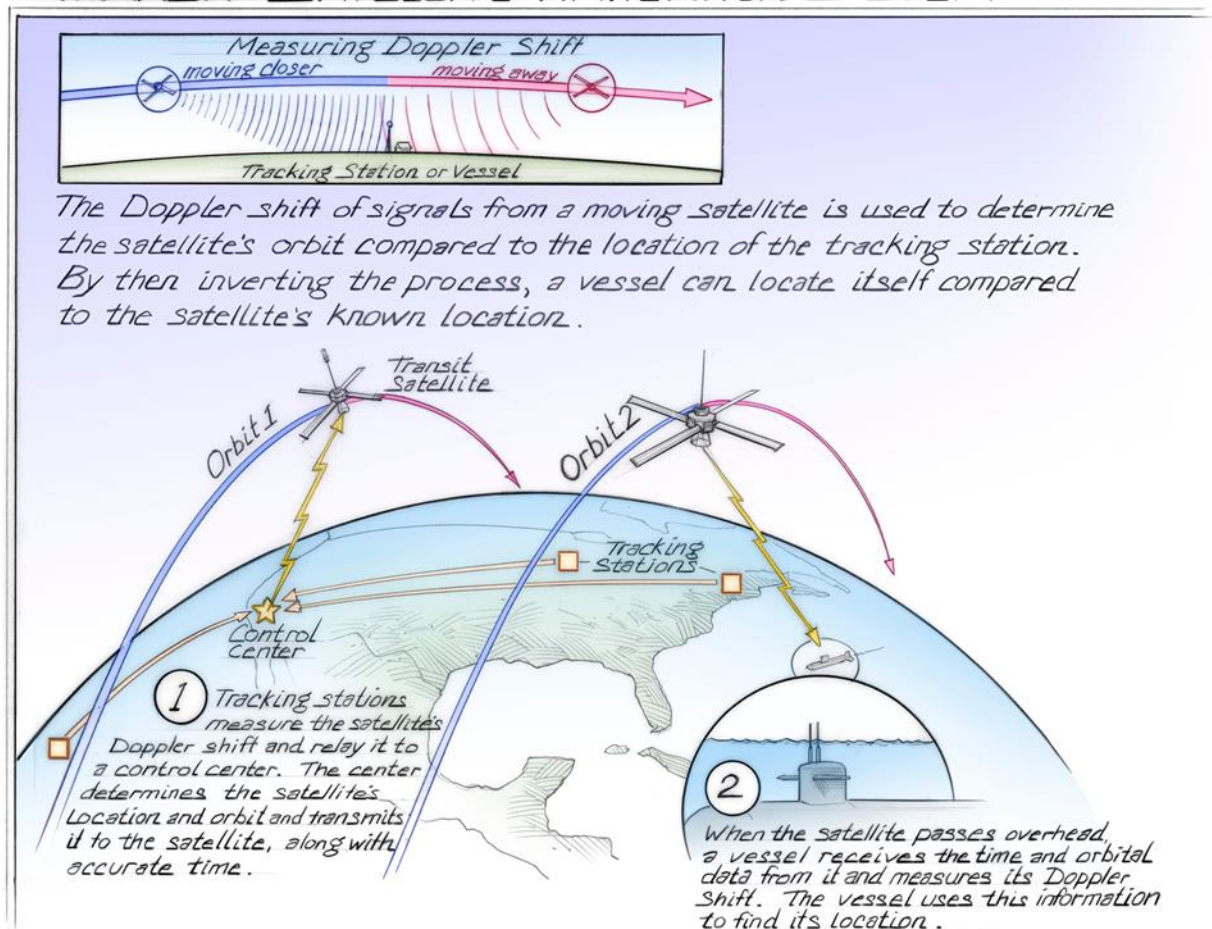


Рис. 2.2 Пояснення принципу функціонування системи TRANSIT

Перший супутник "Transit-1B" був успішно запущений 13 квітня 1960 року. Цей супутник мав систему для точного визначення місцезнаходження об'єкта на Землі з використанням сигналів, які відправлялися із космосу. Згодом система була удосконалена, і до середини 1960-х років супутникова система "Transit" набула повноцінної функціональності.

Основними перевагами "Transit" була можливість визначення місцезнаходження в будь-якій точці земної поверхні та ефективність її використання для підводних човнів. Система надавала координати і широту, і довготу з високою точністю, що було важливо для стратегічної оборони та слідкування за об'єктами в океані.

TRANSIT (USA)

The first satellite navigation system, TRANSIT was first successfully tested in 1960. The TRANSIT system satellites broadcast two UHF carrier signals (on 150 and 400 MHz) that provided satellite's six orbit elements and orbit perturbation variables. The critical information that allowed the receiver to compute location was a unique frequency curve caused by the Doppler effect

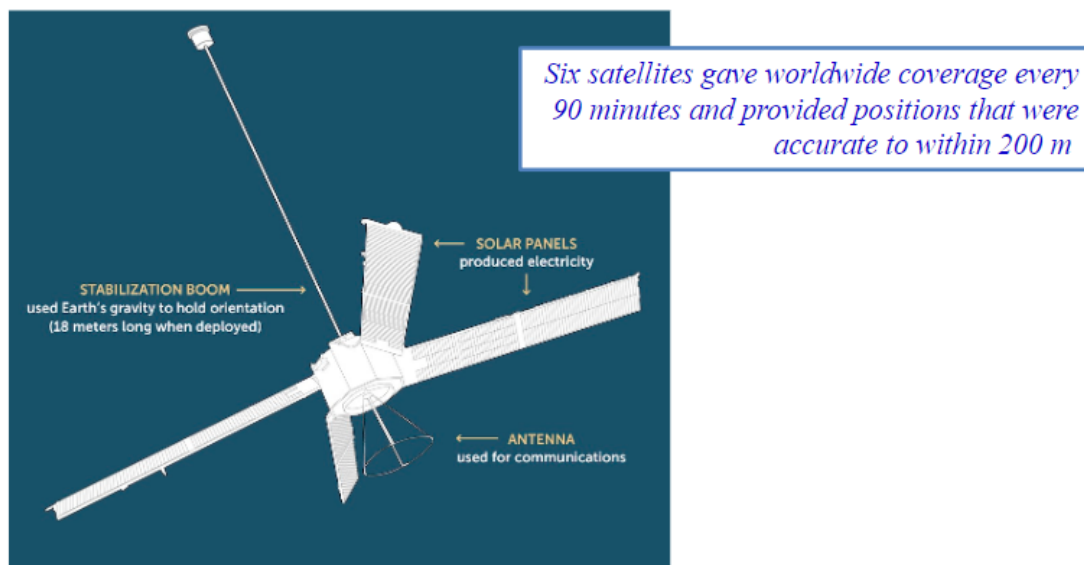


Рис. 2.3 Характеристики космічних апаратів та орбіт системи TRANSIT

З часом розвиток технологій призвів до з'яви більш сучасних супутникових навігаційних систем, і "Transit" була придушена новішими технологіями, такими як GPS. Однак важливість "Transit" полягає в тому, що вона відкрила шлях для подальших розвитків у галузі супутникової навігації.

2.2 Характеристики системи TRANSIT

Основні характеристики системи "Transit":

Принцип роботи:

"Transit" використовувала принцип доплерівського зміщення радіосигналів, що віддзеркалювалися від земної поверхні.

Кожен супутник системи надсилав сигнали на поверхню Землі, і приймачі на об'єктах, які визначали своє місцезнаходження, реєстрували ці сигнали.

1. Орбіта:

Супутники "Transit" перебували на низькій полярній орбіті, що дозволяло їм здійснювати регулярні проходження над будь-якою точкою земної поверхні.

Ця орбіта була обрана для забезпечення оптимального покриття всієї планети.

Сигнали:

Супутники висілали радіосигнали, які приймалися користувачами на земній поверхні.

Сигнали використовувалися для визначення часу подорожі, а з ним і визначення місцезнаходження об'єкта.

Точність і Продуктивність:

Початкова точність системи була порядку кількох кілометрів, але з часом технології були удосконалені, і точність значно покращилася.

Система "Transit" стала основою для розвитку більш сучасних супутникових навігаційних систем, таких як GPS.

Вплив на оборону:

"Transit" стала ключовим компонентом стратегічної оборони, забезпечуючи США засобами визначення місцезнаходження підводних ядерних човнів.

Еволюція:

З часом, із розвитком технологій та появою більш сучасних систем, таких як GPS, "Transit" втратила свою актуальність, але її внесок в супутникову навігацію залишився значущим.

Супутникова навігаційна система "Transit" відіграла важливу роль у визначенні місцезнаходження об'єктів та визначила шлях для подальших розробок в галузі супутникової навігації.

Додаткові аспекти, які важливі для розуміння історії та характеристик супутникової навігаційної системи "Transit":

7. Історичний контекст:

- Створення системи "Transit" відбулося в період Холодної війни, коли стратегічна конфронтація між США і СРСР створила потребу у вдосконалених системах безпеки та навігації.

8. Перший Успішний Запуск:

- Перший успішний запуск супутника "Transit-1B" відбувся 13 квітня 1960 року, що позначило народження цієї новаторської технології.

9. Подальший Розвиток:

- Початкова мета "Transit" була пов'язана з обороною, але з часом систему також використовували в цивільних галузях, наприклад, в геологічних дослідженнях та морському спостереженні.

10. Застосування в Цивільних Галузях:

- "Transit" забезпечувала навігаційну підтримку для кораблів, літаків і наукових експедицій, відкривши нові можливості для досліджень та розвитку.

11. Легендарність:

- Система "Transit" вважалася легендарною через свою роль у стратегічній обороні та підтримці наукових досліджень. Її успіх визначив подальший розвиток супутникових навігаційних технологій.

12. Наслідок і Закінчення:

- Закінчення експлуатації "Transit" настало в 1996 році, коли система вже була застарілою, і новіші технології, такі як GPS, виявилися більш ефективними.

13. Досягнення Ловелла:

- Науковцю Драконісу Люї Ловеллу, який очолював розробку "Transit", було присуджено Національну медаль науки за визначний внесок у розвиток супутникової навігації.

14. Спадщина

- Система "Transit" залишила значущий слід у сфері супутникової навігації, покладаючи фундамент для подальших технологій і впливаючи на розвиток цього напрямку.

Історія "Transit" є прикладом вдалого поєднання наукового дослідження, військових потреб та застосування в цивільних галузях, що дозволило їй залишити слід в розвитку навігаційних технологій.

2.3 Переваги та недоліки системи TRANSIT

Плюси системи "Transit":

1. Новаторськість:

- "Transit" була першою супутниковою навігаційною системою, що надала можливість точного визначення місцезнаходження об'єктів на поверхні Землі.

2. Визначення Місцезнаходження в Реальному Часі:

Система дозволяла користувачам визначати своє місцезнаходження в реальному часі, що було важливим для військових та цивільних застосувань.

3. Використання в Стратегічній Обороні:

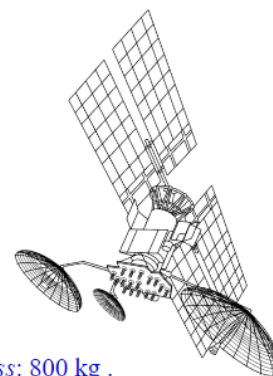
"Transit" стала ключовим засобом для стратегічної оборони, забезпечуючи важливий елемент безпеки та визначення місцезнаходження підводних ядерних човнів.

Вплив на Розвиток Супутникової Навігації:

Внесок "Transit" став важливим етапом у розвитку супутникової навігації та вплинув на подальший розвиток глобальних навігаційних систем. Зокрема Радянським Союзом було повторено концепцію цієї системи в рамках створення супутникової навігаційної системи військового призначення «Циклон». Певна загальна інформація про цю систему приведена на рис. 2.4

TSICLON SATELLITE SYSTEM (USSR)

Tsiklon is the first Soviet satellite navigation system. It was to use the Doppler navigation method and be placed in 800 to 1000 km altitude orbit.



*Gross mass: 800 kg .
First Launch: 1967.05.15.
Last Launch: 1978.07.27.
Total Number of satellites: 31 .*

Experimental flights began in 1967. First trial showed a position error of 3 km, which was intolerable. A large part of the problem was with inaccuracies in the software models available for predicting the satellites ephemerides. Follow work under this problem resulted in a 10 to 30 times improvement in the accuracy.

Рис. 2.4 Характеристики системи «Циклон»

4. Розширені Можливості Досліджень:

- Використання "Transit" в цивільних галузях, таких як геологічні дослідження та наукові експедиції, відкрило нові можливості для досліджень.

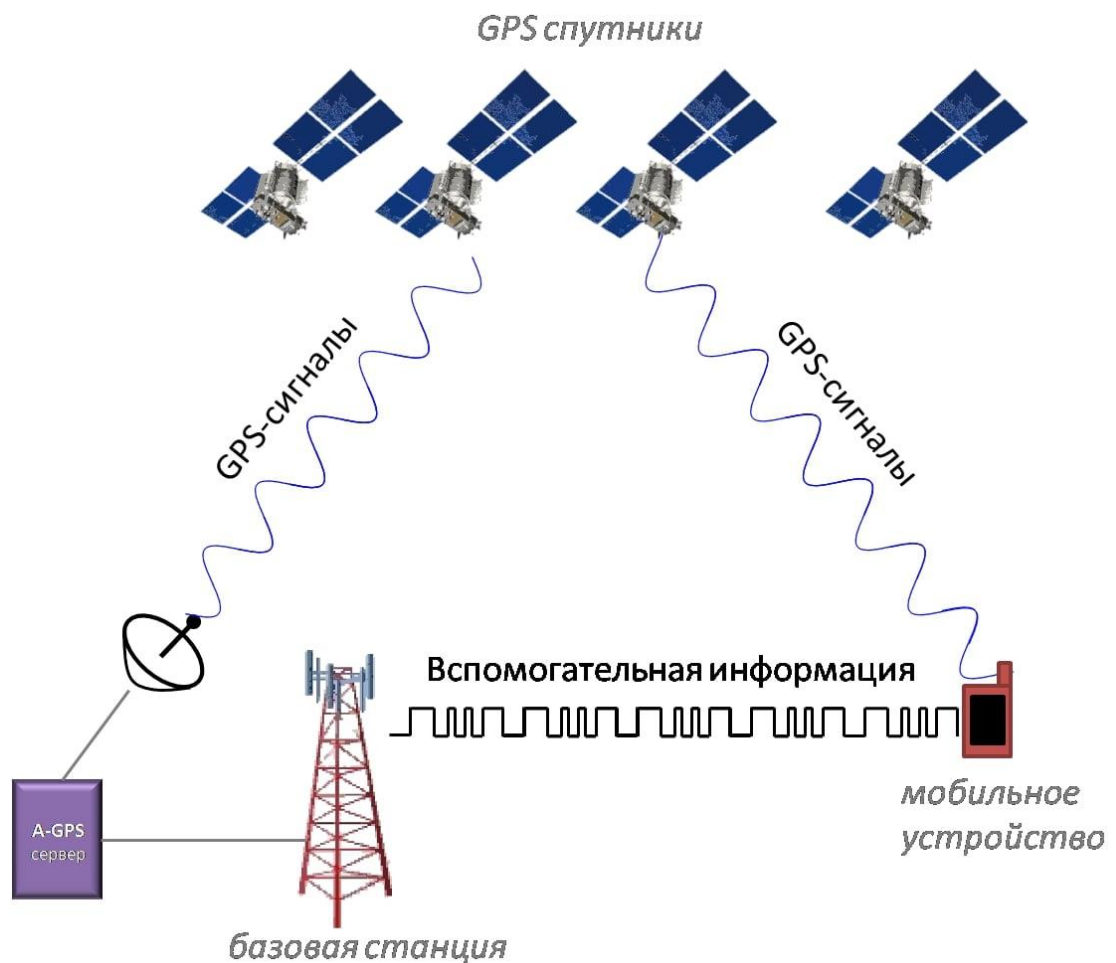


Рис. 2.5 Еволюція методу визначення координат користувача в сучасних супутникових навігаційних системах

До ряду слабких місць та недоліків системи "Transit" різні джерела відносять наступні положення:

1. Точність:

Початкова точність "Transit" була обмеженою (кілька кілометрів), що становило виклик для деяких додаткових застосувань.

2. Низька Пропускна Здатність:

Система "Transit" мала обмежену пропускну здатність, а отже, можливість обслуговування обмеженої кількості користувачів одночасно.

3. Залежність від Орбіт:

Визначення місцезнаходження залежало від орбіт супутників, і в деяких випадках це може бути обмежуючим фактором.

4. Придатність для застосування лише в окремих класах задач:

Система була спроектована переважно для потреб оборони та стратегічних застосувань, що робило її менш універсальною порівняно з подальшими супутниковими системами.

5. Витрати та технічна деградація:

З часом, система вимагала значних витрат на утримання та оновлення, особливо з урахуванням швидкого розвитку технологій.

6. Кількість Супутників:

Завдяки невеликій кількості супутників система могла не завжди забезпечити надійне покриття всієї земної поверхні.

Хоча "Transit" була першою системою свого роду та виконувала важливі завдання, з часом її обмежені можливості призвели до розвитку більш сучасних і універсальних супутникових навігаційних систем, таких як GPS.

2.4 Застосування системи TRANSIT

Супутникова навігаційна система "Transit" була розроблена в основному для військових та оборонних цілей, зокрема для визначення місцезнаходження підводних ядерних човнів. Проте, з часом, система також знайшла застосування у цивільних сферах. Ось де вона використовується:

1. Військове Застосування:

"Transit" була важливою складовою стратегічної оборони, забезпечуючи точне визначення місцезнаходження великих військових кораблів та підводних човнів.

2. Морська Навігація:

В системі визначення місцезнаходження кораблів і суден була важливою для морської навігації та безпеки на морі.

3. Наукові Дослідження:

"Transit" використовувалася в наукових дослідженнях, зокрема в геологічних та геофізичних експедиціях для визначення точних координат.

4. Геодезія:

У деяких випадках "Transit" використовувалася для геодезичних вимірювань та земельних досліджень.

5. Цивільна Авіація:

В деяких випадках система використовувалася в цивільній авіації для покращення точності навігаційних систем.

6. Морське Спостереження:

"Transit" була корисною для морського спостереження та контролю за великими водними та прибережними територіями.

7. Гуманітарні Заходи:

У деяких випадках система використовувалася для гуманітарних заходів та рятувальних операцій для визначення місцезнаходження об'єктів та пошукових операцій.

Варто відзначити, що після розвитку більш сучасних систем, таких як GPS, які забезпечують вищу точність та універсальність, застосування системи "Transit" в цивільних галузях стало менш поширеним.

Супутникова навігаційна система "Transit" визначилася як перша в своєму роді система, що гравала ключову роль у визначенні місцезнаходження об'єктів на поверхні Землі. Розроблена під час Холодної війни, вона була спрямована на вирішення військових та стратегічних завдань, зокрема для визначення місцезнаходження підводних ядерних човнів.

Позитивні аспекти системи "Transit" включають її новаторськість як першої супутникової навігаційної системи, вплив на розвиток супутникової навігації та її важливу роль у стратегічній обороні та безпеці. Вона визначила шлях для подальших досліджень у цій області та сприяла науковим дослідженням та цивільному застосуванню.

З іншого боку, система "Transit" мала свої обмеження та мінуси, такі як обмежена точність, низька пропускна здатність та залежність від орбіт. Її

застосування також обмежувалося переважно військовими та оборонними завданнями, що робило її менш універсальною порівняно з подальшими розвитками супутникових навігаційних систем.

Із введенням більш сучасних та універсальних систем, таких як GPS, застосування "Transit" в цивільних галузях втратило свою актуальність. Проте, слід визнати, що вона відіграла важливу роль в історії розвитку супутникової навігації та залишила слід, вплинувши на подальші технологічні досягнення в цій області.

2.5 Еволюція методів визначення координат користувача засобами супутникових навігаційних систем

Успішно апробований принцип розташування передавачів спеціальних сигналів на штучних супутниках Землі з метою створення можливості користувачам на земній поверхні одержувати навігаційне забезпечення дозволив продовжити розвиток цих технологій.

Недоліки системи Transit були усунуті разом зі створенням нового принципу визначення координат методом трилатерації, коли навігаційні супутники в космосі використовуються як точки з відомими координатами, до яких користувачу необхідно визначити відстані і знайти власні невідомі координати математично. Наступні ілюстрації наглядно демонструють цей принцип.

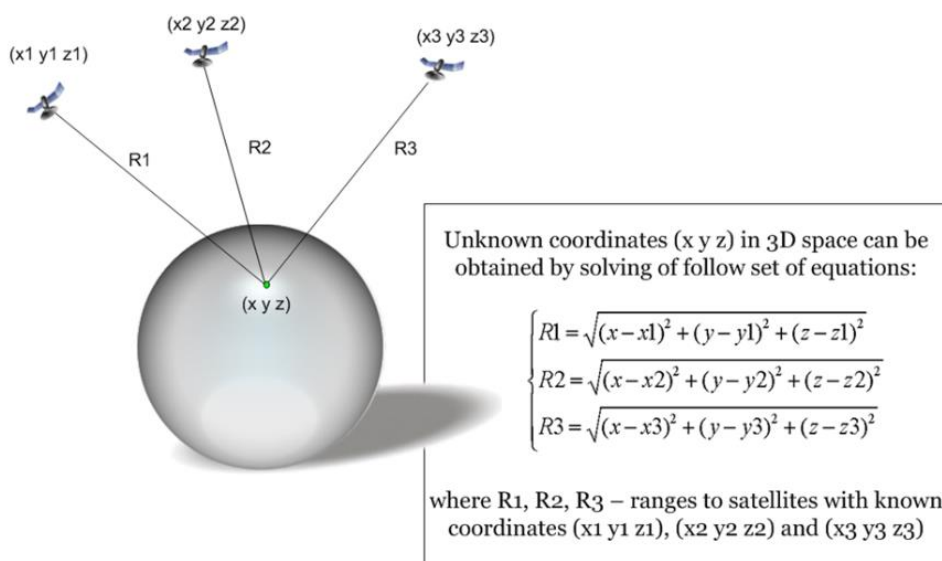


Рис. 2.6 Реалізація дальномірного метода

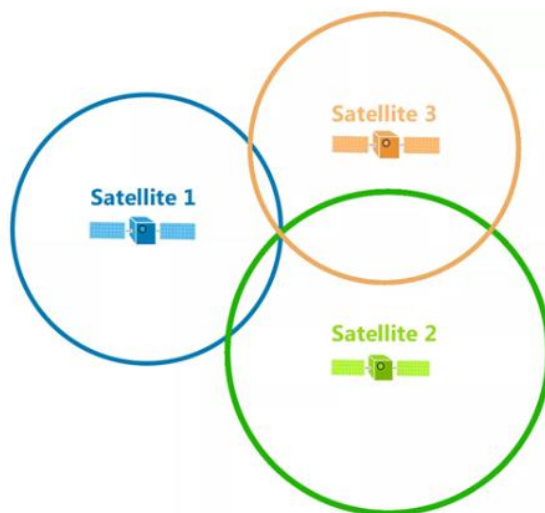


Рис. 2.7 Дальномірний метод для 2D навігації



Рис. 2.8 Дальномірний метод для 3D навігації

При концептуальній простоті дальномірного методу (рис. 2.9) його практична реалізація стикається із технічною складністю точного визначення відстані користувач-супутник. Ця відстань може бути визначена через вимірювання часу розповсюдження сигналу від супутника до антени приймача, але для забезпечення потрібного рівня точності потребує синхронізації шкал часу в обох точках до

ступеня 10^{-14} секунди, що може бути забезпечено лише при використанні атомних стандартів часу.

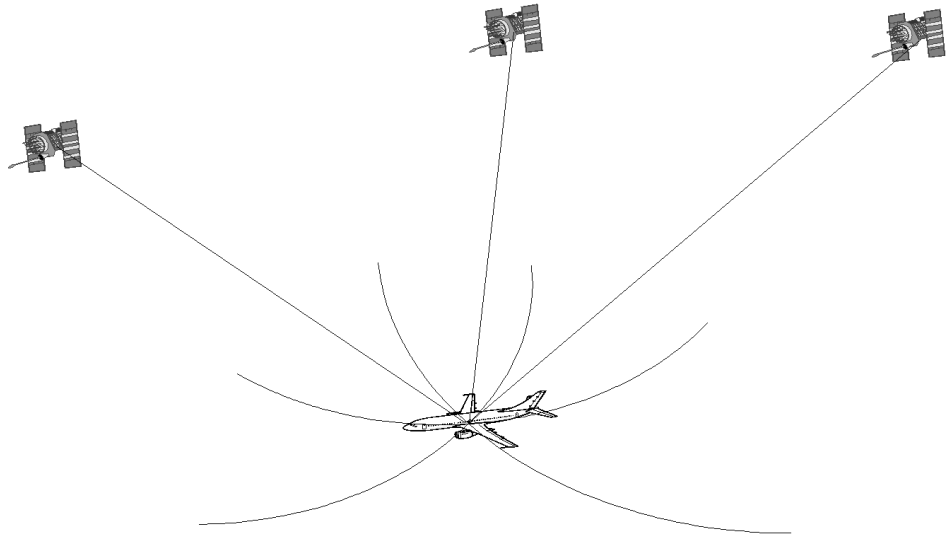


Рис. 2.9 Концепція використання дальномірного методу

For measuring Δt satellite on-board clock (system time scale) and clock of receiver (user time scale) must be synchronized with high precision. The smallest shift between this two time scales (τ) will result in error of range determination ($c\tau$).



$$R' = c(\Delta t + \tau) = c\Delta t + c\tau = R + c\tau$$

where τ – shift between time scales
 R' – pseudorange to satellite



Рис. 2.10 Виникнення похибки визначення відстані до супутника

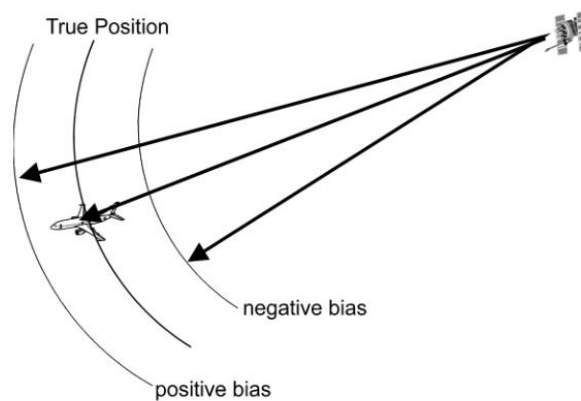


Рис. 2.11 Вплив неточності визначення дальності до супутника на точність визначення положення користувача

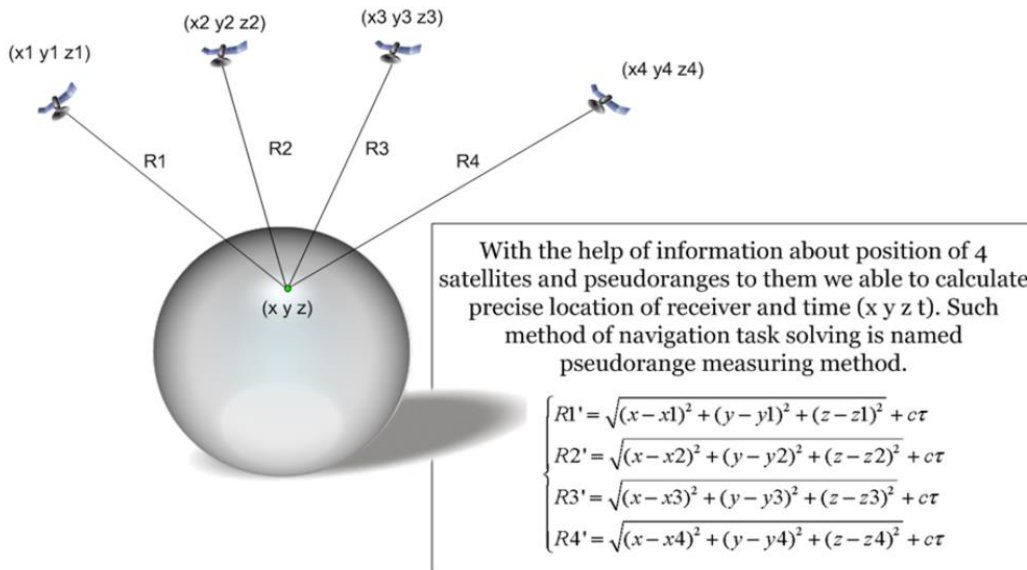


Рис. 2.12 Псевдодальномірний метод визначення координат

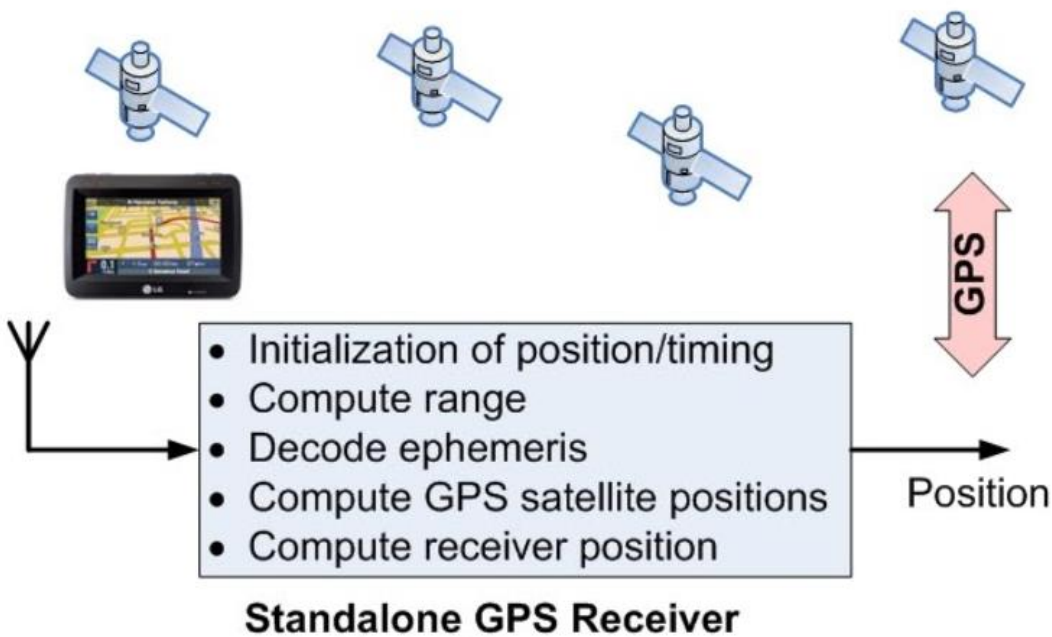


Рис. 2.13 Реалізація псевдодальномірного методу в наступному поколінні супутникових навігаційних систем - GPS

Висновки до розділу 2

В другому розділі виконано огляд принципу роботи системи TRANSIT, яка була першою реалізацією супутникової навігаційної системи, в якій радіонавігаційним параметром виступав доплерівський зсув частоти відносно відомого значення. Приведені принцип роботи та переваги і недоліки цього типу визначень.

Еволюція розвитку науки та техніки другої половини XX ст зробила можливим реалізацію наступних поколінь супутникових навігаційних систем, в яких було реалізовано дальномірний метод (трилатерацію). Радіонавігаційним параметром при цьому є псевдодальність до навігаційного супутника.

В наступному розділі для досягнення поставленої в дипломній роботі меті буде виконано експериментальний запис даних системи GPS, в якому містяться необхідні радіонавігаційні параметри, здійснено його декодування та візуалізація одержаних результатів з метою оцінки діапазону, в якому можлива їх зміни в сучасному поколінні супутникових навігаційних систем.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЗМІНИ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ

В розділі наводиться опис обраної методики дослідження, перераховується склад і можливості спеціалізованого програмного комплексу в пакеті MatLab та аналізуються одержані з його допомогою результати обробки масивів експериментальних даних, в які записані спостереження за дальністю, відношенням сигнал/шум та доплерівською частотою, виконані в лабораторії супутникових навігаційних систем Національного авіаційного університету.

3.1 Псевдодальність до навігаційних супутників

В сучасному поколінні супутникових навігаційних систем GPS, Galileo, Beidou радіонавігаційним параметром виступає час розповсюдження сигналу по лінії супутник – приймач, який після помноження на швидкість (приблизно дорівнює c – швидкості світла у вакуумі), дозволяє одержати відстань, або дальність між супутником та приймачем. З врахуванням багатьох компонентів, які вносять похибку в це вимірювання, одержана величина насправді має у своєму складі геометричну дальність але також і ряд компонент, які після врахування потребують уточнення і введення терміну – «псевдодальність», як дальність, але із суттєвим відхиленням внаслідок присутності додаткових компонент. Розглянемо їх перелік більш детально.

Величина псевдодальності до супутника може бути визначена за допомогою двох різних типів вимірювань: кодових або фазових. Перший метод забезпечує більшу швидкість одержання грубих значень, які в подальшому можуть уточнюватись.

Фазове визначення псевдодальності потребуватиме більше часу для необхідності розв'язання фазової неоднозначності, але зрештою дозволяє одержати більш точні значення з меншою похибкою.

Математичні записи кодової та фазової псевдодальностей мають наступний вигляд:

$$PR^i = R^i + c \cdot (dt^{res} - dt^i) + \Delta eph^i + I^i + T^i + n_c^i,$$

$$\Phi PR^i = R^i + c \cdot (dt^{res} - dt^i) + \Delta eph^i + \lambda \cdot N - I^i + T^i + n_\phi^i,$$

де

PR^i – кодова псевдодальність,

R^i – геометрична дальність,

c – швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль у вакуумі,

dt^{res} – помилка синхронізації годинника приймача,

dt^i – помилка синхронізації годинника супутника,

Δeph^i – помилки обумовлені неточністю завдання ефемерид супутника

контрольним сегментом,

I^i – іоносферна складова,

T^i – тропосферна складова,

n_c^i – сукупність шумів при кодових вимірюваннях,

ΦPR^i – фазова псевдодальність,

λ – довжина хвилі несучої частоти,

N – параметр, що розкриває неоднозначність вимірювання фази (кількість повних циклів хвилі),

n_ϕ^i – сукупність шумів при фазових вимірюваннях,

i – ідентифікатор навігаційного супутника.

Наведені співвідношення та їх компоненти можуть бути доповнені індексами несучої частоти $L1, L2, \dots, Ln$.

Різницю кодових вимірювань на частотах $L1, L2$ одержується з наступних рівнянь

$$PR_{L1}^i = R_{L1}^i + c \cdot (dt_{L1}^{rec} - dt_{L1}^i) + \Delta eph^i + I_{L1}^i + T_{L1}^i + n_{cL1}^i,$$

$$PR_{L2}^i = R_{L2}^i + c \cdot (dt_{L2}^{rec} - dt_{L2}^i) + \Delta eph^i + I_{L2}^i + T_{L2}^i + n_{cL2}^i.$$

Розглянемо експериментальні дані складових.

Обладнання лабораторії супутникової навігації кафедри аеронавігаційних систем НАУ дозволяє записувати експериментальні дані за допомогою

встановлених приймачів супутникової навігації. Серед доступних до запису повідомлень є таке, що має назву RANGE. Дані, які записуються в файл містять результати вимірювань псевдодальності, значення миттєвого доплерівського зсуву частоти, відношення сигнал/шум, часу спостереження супутника. Докладно інформація про дані, які записуються всередині повідомлення RANGE наведено в керівництві користувача приймача з описом всіх команд і конкретно для цього повідомлення структура даних наведена на рис. 3.1

| Field # | Field type | Data Description | Format | Binary Bytes | Binary Offset |
|----------|---------------------------------------|--|--------|--------------|---------------------|
| 1 | header | Log header | | H | 0 |
| 2 | # obs | Number of observations with information to follow. ^a | Long | 4 | H |
| 3 | PRN | GPS satellite PRN number of range measurement. | UShort | 2 | H+4 |
| 4 | Reserved | | UShort | 2 | H+6 |
| 5 | psr | Pseudorange measurement (m). | Double | 8 | H+8 |
| 6 | psr std | Pseudorange measurement standard deviation (m). | Float | 4 | H+16 |
| 7 | adr | Carrier phase, in cycles (accumulated Doppler range). | Double | 8 | H+20 |
| 8 | adr std | Estimated carrier phase standard deviation (cycles). | Float | 4 | H+28 |
| 9 | dopp | Instantaneous carrier Doppler frequency (Hz). | Float | 4 | H+32 |
| 10 | C/N ₀ | Carrier to noise density ratio C/N ₀ = 10[log ₁₀ (S/N ₀)] (dB-Hz) | Float | 4 | H+36 |
| 11 | locktime | Number of seconds of continuous tracking (no cycle slipping). | Float | 4 | H+40 |
| 12 | ch-tr-status | Tracking status (see <i>Channel Tracking Status on Page 185</i> and the example in <i>Table 56</i>). | ULong | 4 | H+44 |
| 13... | Next PRN offset = H + 4 + (#obs x 44) | | | | |
| variable | xxxx | 32-bit CRC (ASCII and Binary only) | Hex | 4 | H+4+ (#obs x 44) |
| variable | [CR][LF] | Sentence terminator (ASCII only) | - | - | - |

a. Some satellite PRN numbers may have two lines of observations, one for the L1 frequency and the other for L2.

Рис. 3.1 Вміст повідомлення RANGE

Розглянемо вміст цього повідомлення більш детально. Його ідентифікатор Message ID:43. Поля даних (Field) інформують про наступні дані, що в них містяться.

Field 1 - заголовок повідомлення.

Field 3 - номер супутника.

Field 5 - виміряна кодова псевдовідстань в метрах.

Field 6 - середньоквадратичне відхилення (СКВ) кодової псевдовідстані.

Field 7 - фазова псевдовідстань у циклах.

Field 8 - СКВ фазової псевдовідстані.

Field 9 – доплерівський зсув частоти.

Field 10 - відношення сигнал/шум.

Для проведення експериментального дослідження будемо використовувати наступну методику. За допомогою приймального обладнання лабораторії здійсимо тривалі записи експериментальних даних, які містять повідомлення Message ID:43 RANGE. Для його декодування використовуватимемо програму розробки наукового колективу лабораторії супутникових навігаційних систем (рис. 3.2).

| Имя | Дата изменения | Тип | Размер |
|------------------------|------------------|-----------------|--------|
| FileSat | 24.09.2019 9:40 | Папка с файлами | |
| In_dat | 19.01.2020 20:06 | Папка с файлами | |
| PlotPRN | 19.01.2020 20:06 | Папка с файлами | |
| CN_Dopler.m | 02.01.2018 16:48 | Файл "М" | 1 КБ |
| StartRangeInterpotVK.m | 02.01.2018 14:57 | Файл "М" | 2 КБ |
| StartRangematL2VK.m | 01.01.2018 21:33 | Файл "М" | 7 КБ |
| StartRangematVK.m | 01.01.2018 21:27 | Файл "М" | 7 КБ |
| StartRangeVK.m | 02.01.2018 18:41 | Файл "М" | 4 КБ |
| StartVisioPRNVK.m | 01.01.2018 19:24 | Файл "М" | 4 КБ |

Рис. 3.2 Склад програм для декодування повідомлення RANGE

Оскільки в середині повідомлення містяться різні дані, то до складу програм декодування входять різні підпрограми для їх декодування, збереження масивів вихідних даних та візуалізації графічних результатів.

Програма StartVisioPRNVK.m здійснює обробку записаного повідомлення з видачею у вигляді графічної діаграми номерів супутників, дані від яких були записані в файл і тривалість спостереження кожного із них. На рис. 3.3 наведено фрагмент лістингу цієї програми, а на рис. 3.4 графічний результат виконання.

```

Editor - D:\MatLab_Programs\2018_Moq_AHC\2018_Ла6_7_RANGE\Work_RANGE\VK\StartVisioPRNVK.m
+2  Visio_GPS.m  x  ORBITA_GGG.m  x  Start_GPS.m  x  ReadAlmTrFed.m  x  ReadAlmTrGGGBX.m  x  CN_Dopler.m  x  StartRangeVK.m
1  %Файл рассчитывает диаграмму видимости спутников
2  % Dat = 'In_dat/RangeN.BIN';
3  Dat = 'In_dat/14_10_11Range.BIN';
4  kolPRN = 61;
5  j_color = 0;
6  color7(1:7) = ['b' 'g' 'r' 'c' 'm' 'y' 'k'];
7  max_n = 0;
8  fid = fopen(Dat,'rb');
9  %Чтение данных по каждому спутнику
10 kol = 4400;% 32558;% 10000;%
11 %kol =1100;
12 %ris_vid(1:32,1:kol) = 0;
13 ris_vid = zeros(kolPRN, kol);
14 n = 0;
15 Syn_c = fread(fid,3,'uchar');
16 while (~feof(fid))
17     %for n = 1:kol
18     n = n + 1;
19     %Syn_c = fread(fid,3,'uchar'); %B OEM-4 'char'
20     %Syn_c = fread(fid,2,'uchar'); %B OEM-4 'Char'
21     Hear_d= fread(fid,1,'uchar'); %B OEM-4 'Uchar'
22     Message_ID = fread(fid,1,'uint16'); %B OEM-4 'Long'
23     Message_Type=fread(fid,1,'uchar'); %B OEM-4 'Char'
24     Port_Address = fread(fid,1,'uchar'); %B OEM-4 'Char'
25     Message_Length = fread(fid,1,'uint16'); %B OEM-4 'Ushort'
26     Sequenc_e = fread(fid,1,'uint16'); %B OEM-4 'Ushort'
27     Idle_Time = fread(fid,1,'uchar'); %B OEM-4 'Char'
28     Time_Status = fread(fid,1,'uchar'); %B OEM-4 'Enum'
29     week_l = fread(fid,1,'uint16'); %B OEM-4 'Ushort'
30
31     Time = fread(fid,1,'uint') ; %B OEM-4 'Double'
32     N_ul = fread(fid,1,'uint');
33     d_fcc=fread(fid,1,'uint16');
34     d_fcc = dec2hex(d_fcc);
35     el = fread(fid,1,'uint16');
36     kol_sv =fread(fid,1,'uint');
37
38     %fprintf(fw,'Kol : %i \n', kol_sv);
Command Window
In saveAsIacnath (line 124)

```

Рис. 3.3 Лістинг програми StartVisioPRNVK.m

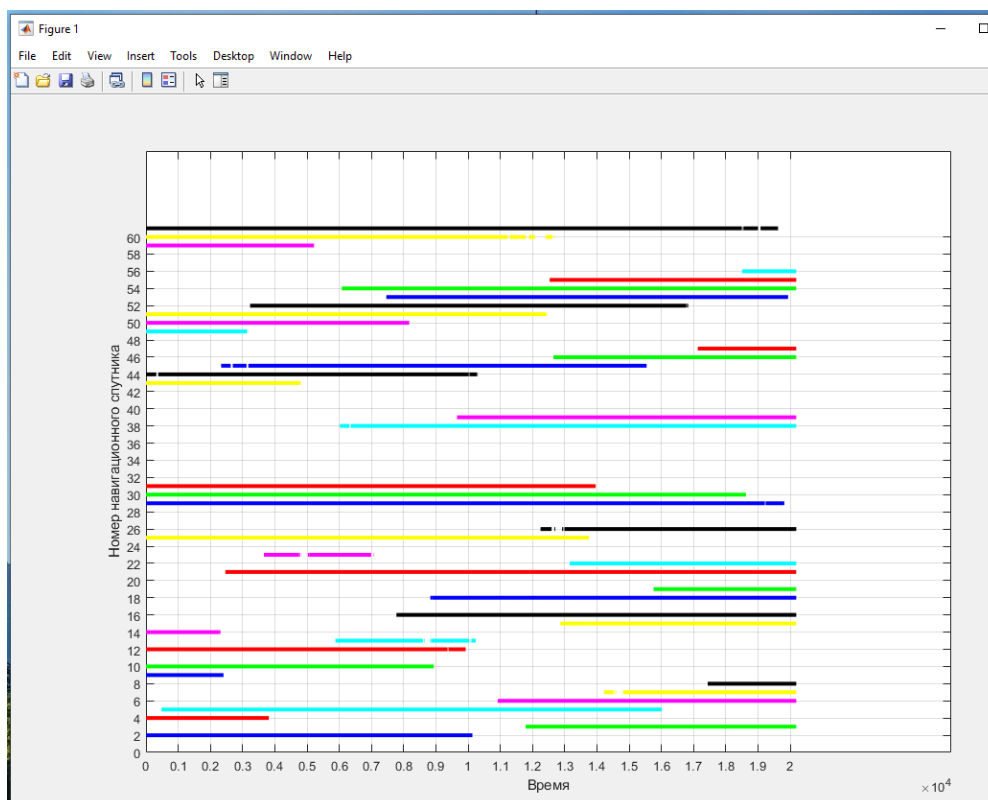


Рис. 3.4 Графічний результат «видимість супутників»

З одержаного графіку можна визначити номери супутників, та інтервалу часу на які були записані псевдодальності та інші радіонавігаційні параметри.

Основною програмою для декодування записаних псевдовідстаней виступає MatLab файл StartRangeVK.m. Його лістинг наведено на рис. 3.5.

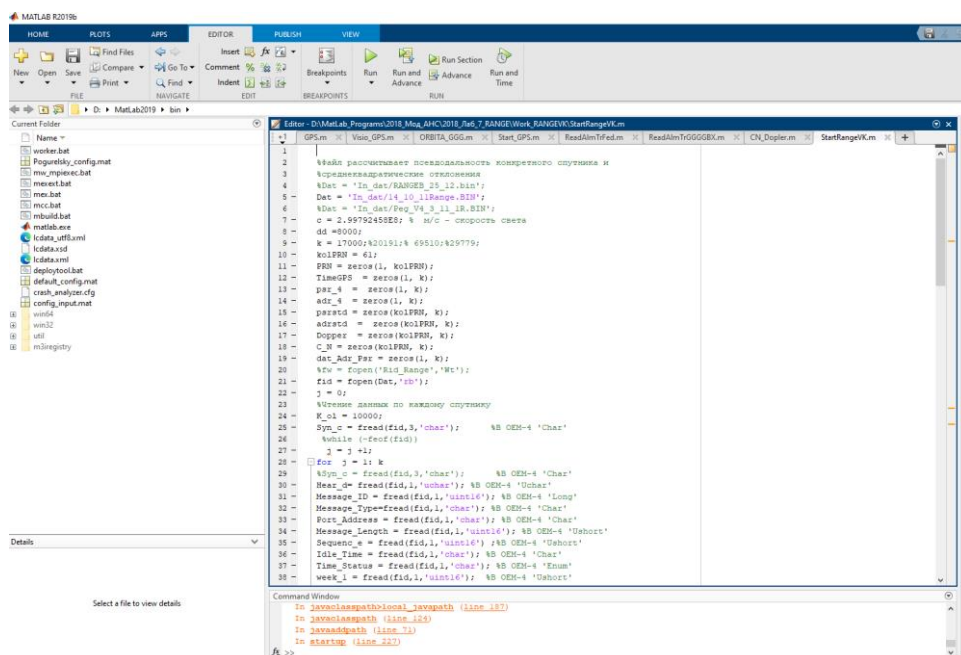


Рис. 3.5 Лістинг програми StartRangeVK.m.

Для коректного одержання результатів роботи програми декодування необхідно прописувати номер супутника, для якого необхідно вивести відповідні графіки. Доступні номери наявних в записаному файлі супутників можна визначити з попереднього графіку на рис. 3.4. Так, наприклад, зафіксувавши наявність супутника №2 необхідно вказати його номер в строчці 69 (рис. 3.6).

```

56 |     adr = fread(fid,1,'double');
57 |     adr_std = fread(fid,1,'float');
58 |     Doo_p = fread(fid,1,'float');
59 |     C_NO = fread(fid,1,'float');
60 |     Loc_time = fread(fid,1,'float');
61 |     Ch_tr_st = fread(fid,1,'ulong');
62 |     CH_tr_st = dec2hex(Ch_tr_st);
63 |     %*****
64 |     if (n_sv ~= n_pred) % выбор первого из одинаковых спутников
65 |         i = i + 1;
66 |         kol_PRN = i-1;
67 |         n_pred = n_sv;
68 |         %*****
69 |         if n_sv == 2|
70 |             %спутники: 1,4,13,16,20,23,24,25,27,120,131;
71 |             PRN(i) = n_sv;
72 |             Sv = PRN(i) ;
73 |             psr_4( j) = psr+ 1.807126541806582e+006;%
74 |             adr_4(j) = adr*(-0.19029367279836) ;%+3.056475812765792e+006 ;
75 |             dat_Adr_Psr(j) = -adr_4( j)+ psr_4( j) ;% +3.0774*10^5; %~-3054200
76 |             psrstd( j) =psr_std;
77 |             adrstd( j)=adr_std*(0.19029367279836);

```

Рис. 3.6 Зазначення номера супутника для декодування псевдодальностей до
НЬОГО

На наступних рис. 3.7 та рис. 3.8 приведені результати роботи програми.

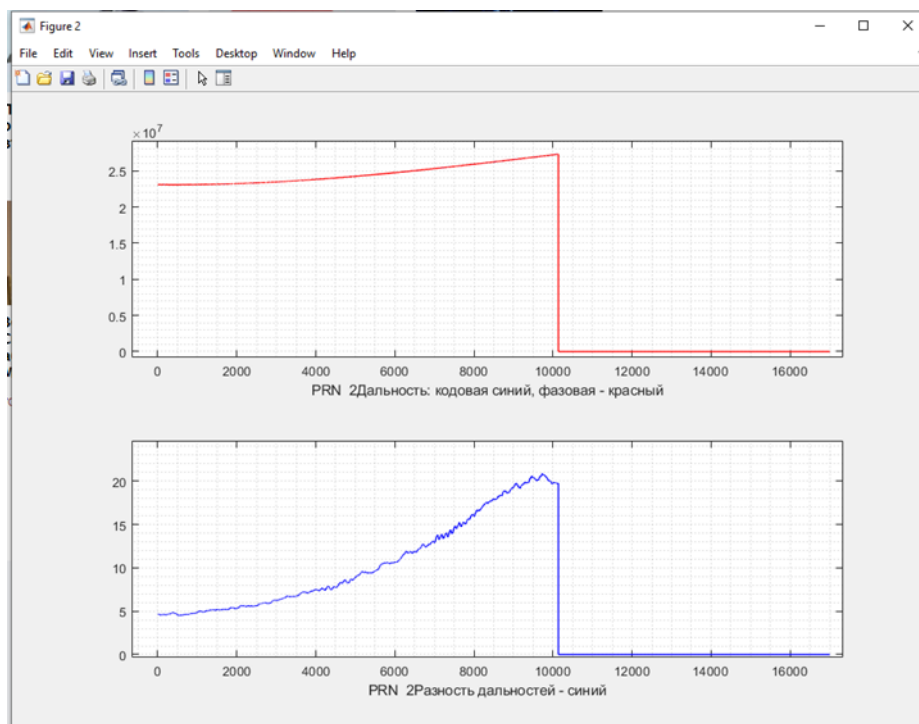


Рис. 3.7 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №2 (верхній графік) та їх різниця (нижній графік)

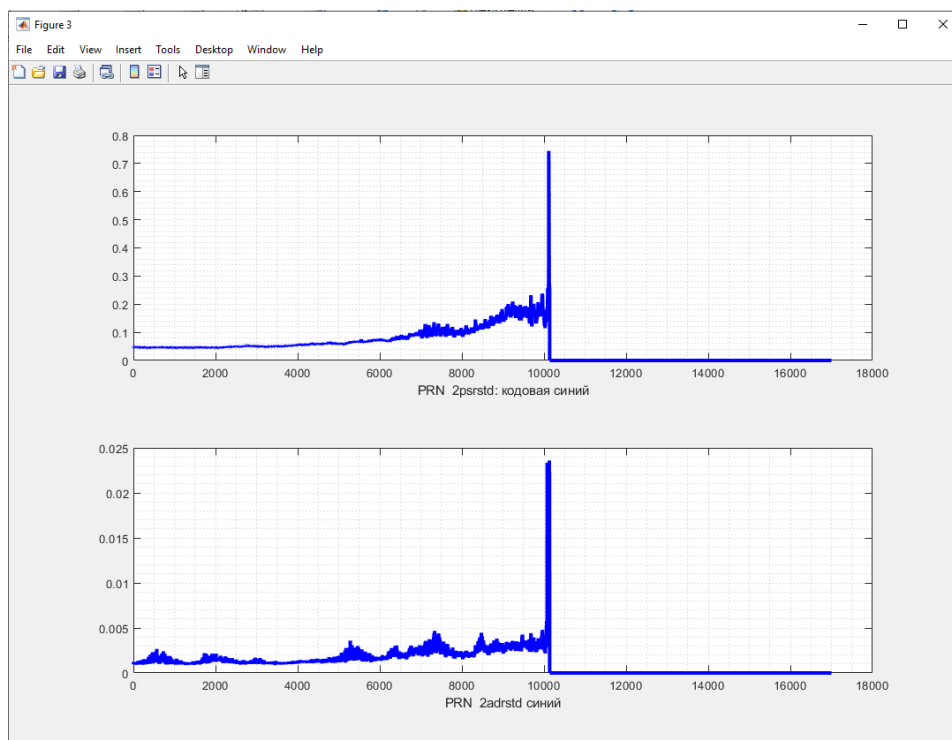


Рис. 3.8 СКВ визначення псевдодальності до супутника №2 кодової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

За такою методикою необхідно здійснити обробки всього масиву записаних експериментальних даних. Одержані результати приведені на наступних рисунках.

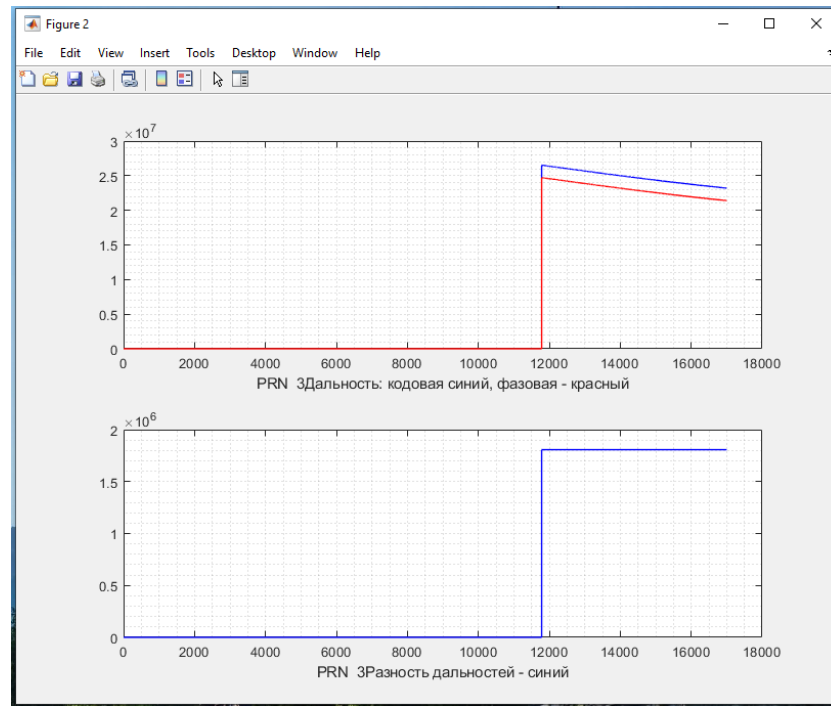


Рис. 3.9 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №3 (верхній графік) та їх різниця (нижній графік)

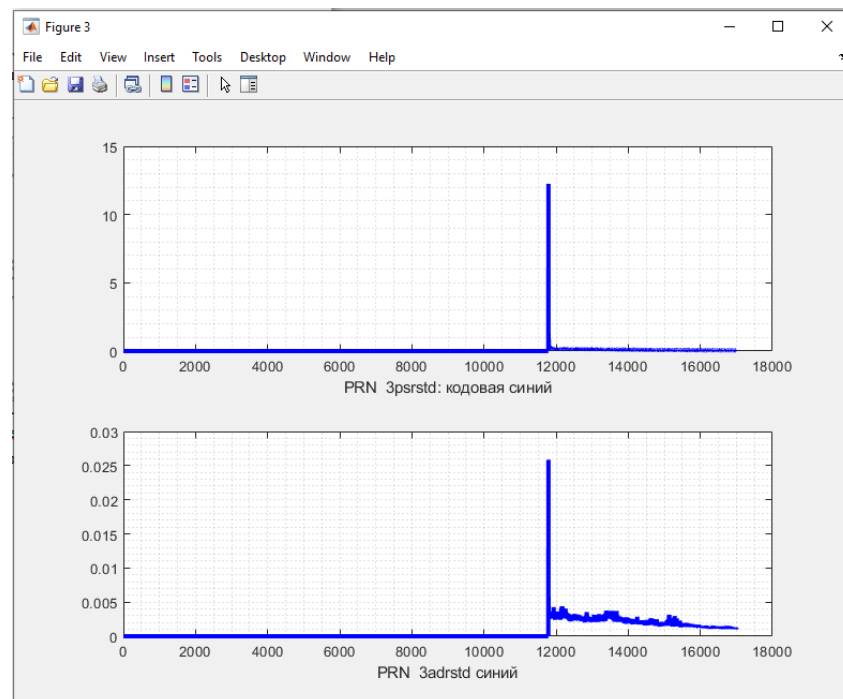


Рис. 3.10 СКВ визначення псевдодальності до супутника №3 кодової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

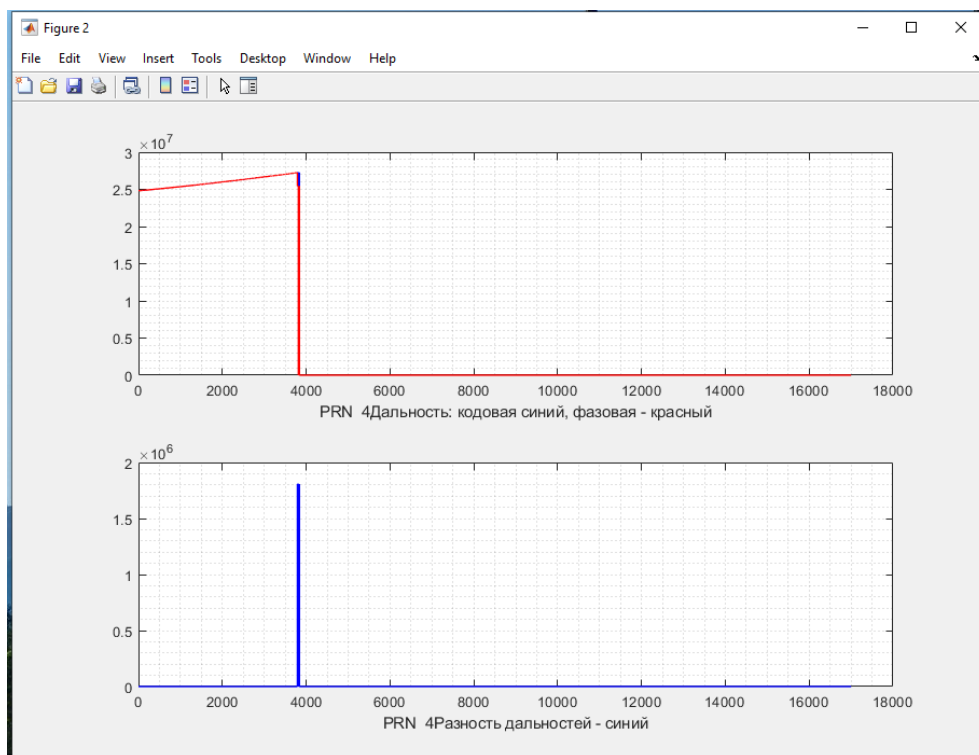


Рис. 3.11 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №4 (верхній графік) та їх різниця (нижній графік)

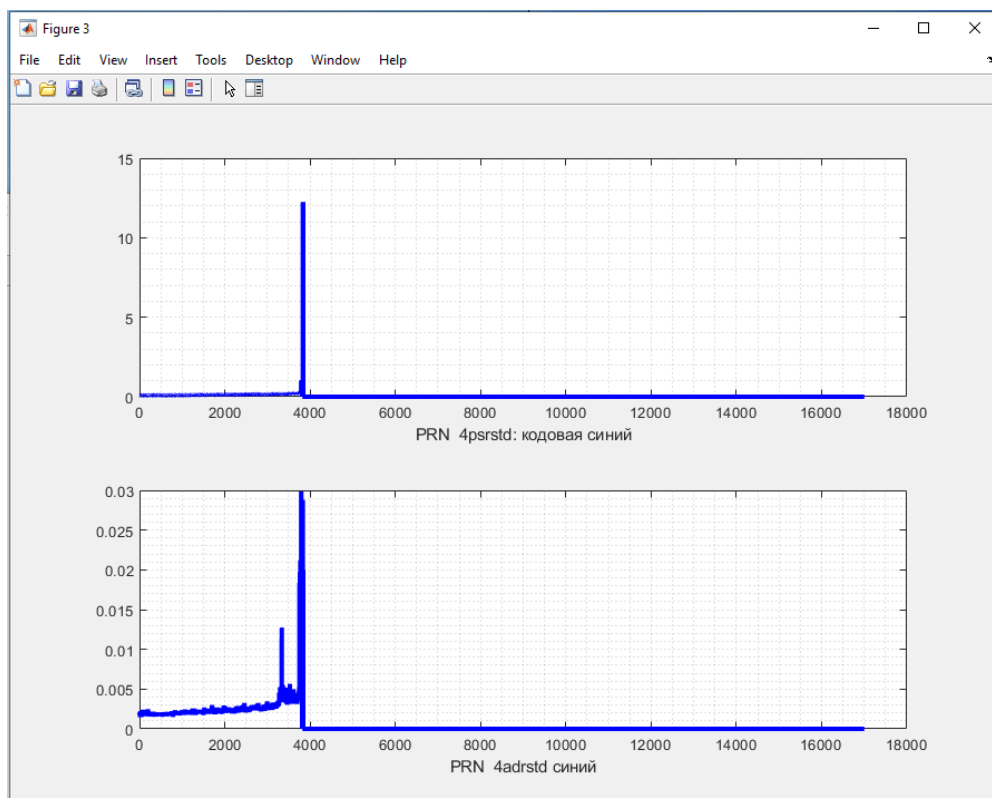


Рис. 3.12 СКВ визначення псевдодальності до супутника №4 кодової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

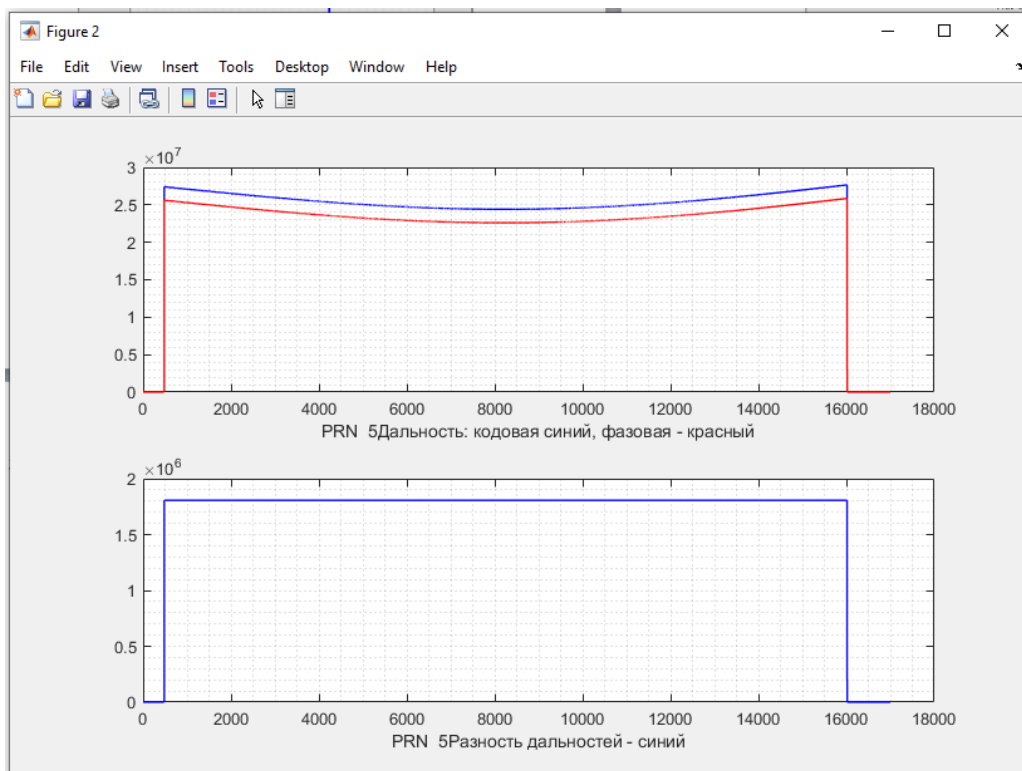


Рис. 3.13 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №5 (верхній графік)
та їх різниця (нижній графік)

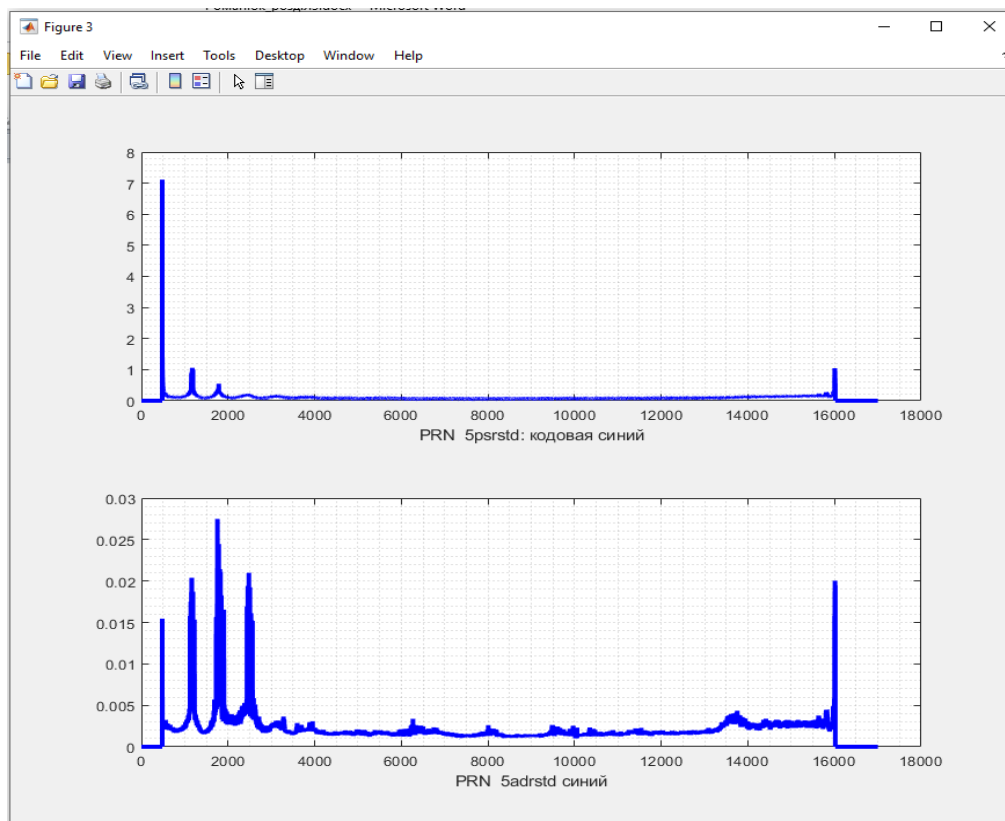


Рис. 3.14 СКВ визначення псевдодальності до супутника №5
кодової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

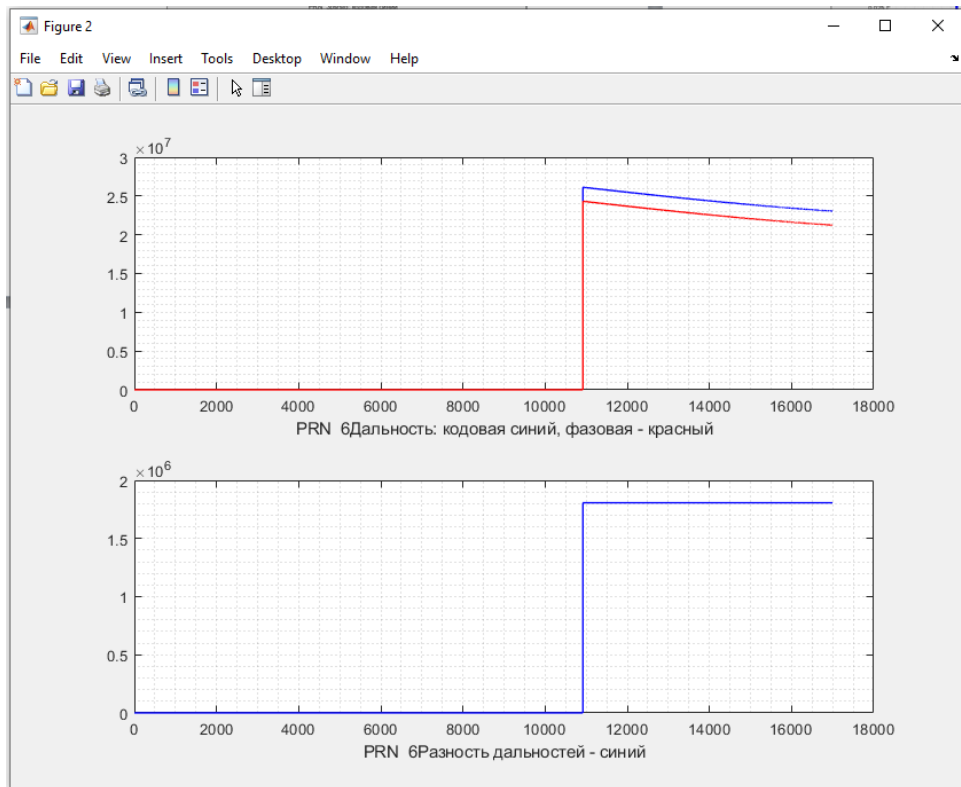


Рис. 3.15 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №6 (верхній графік) та їх різниця (нижній графік)

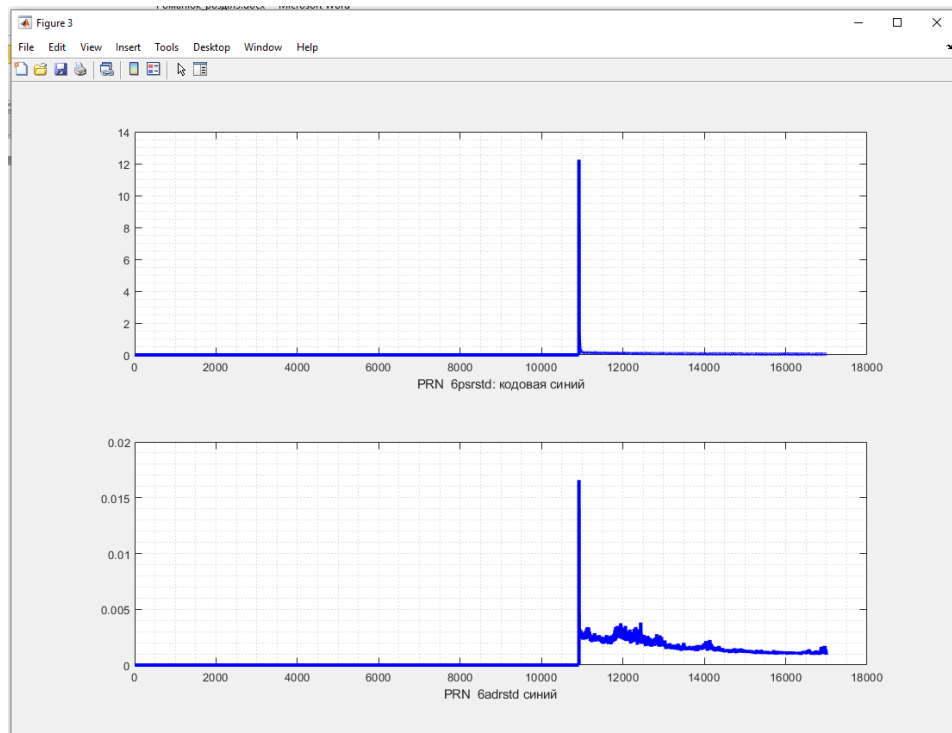


Рис. 3.16 СКВ визначення псевдодальності до супутника №6 кодової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

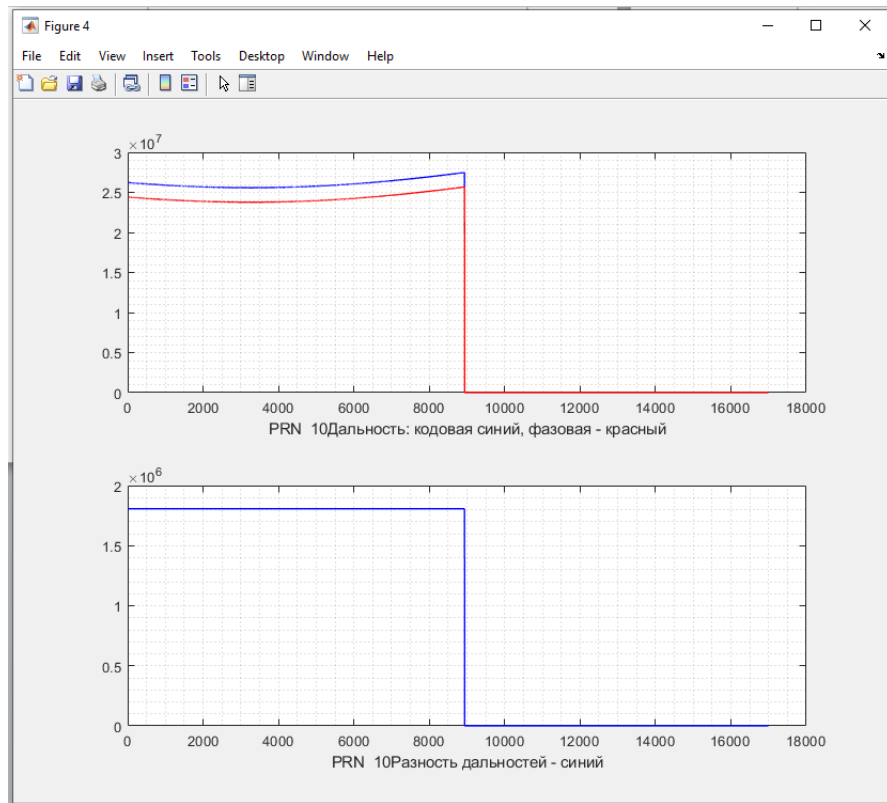


Рис. 3.17 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №10 (верхній графік)
та їх різниця (нижній графік)

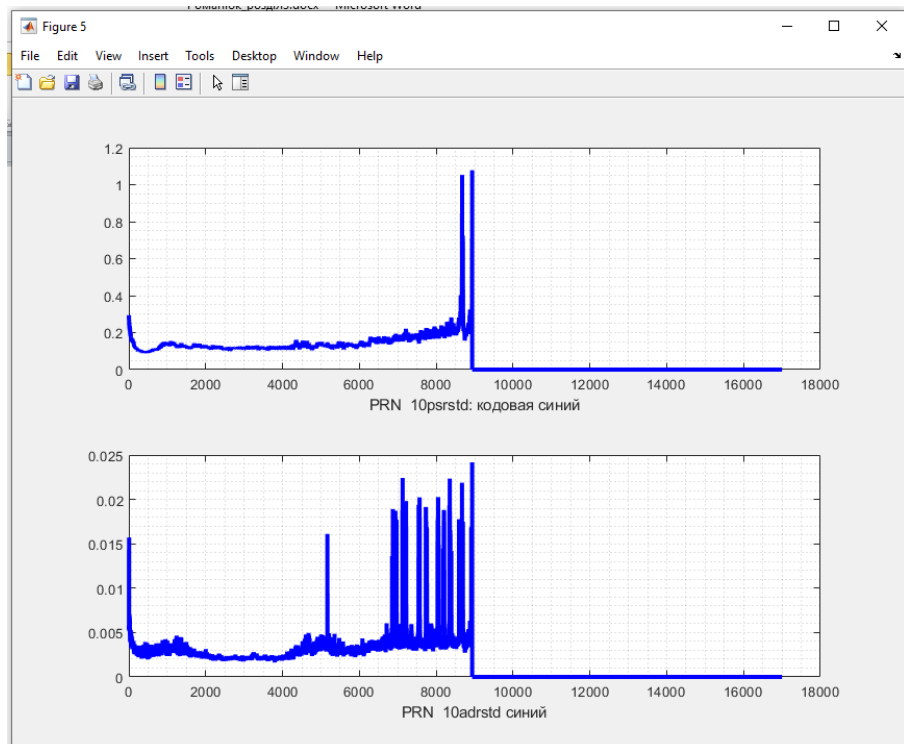


Рис. 3.18 СКВ визначення псевдодальності до супутника №10
кової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

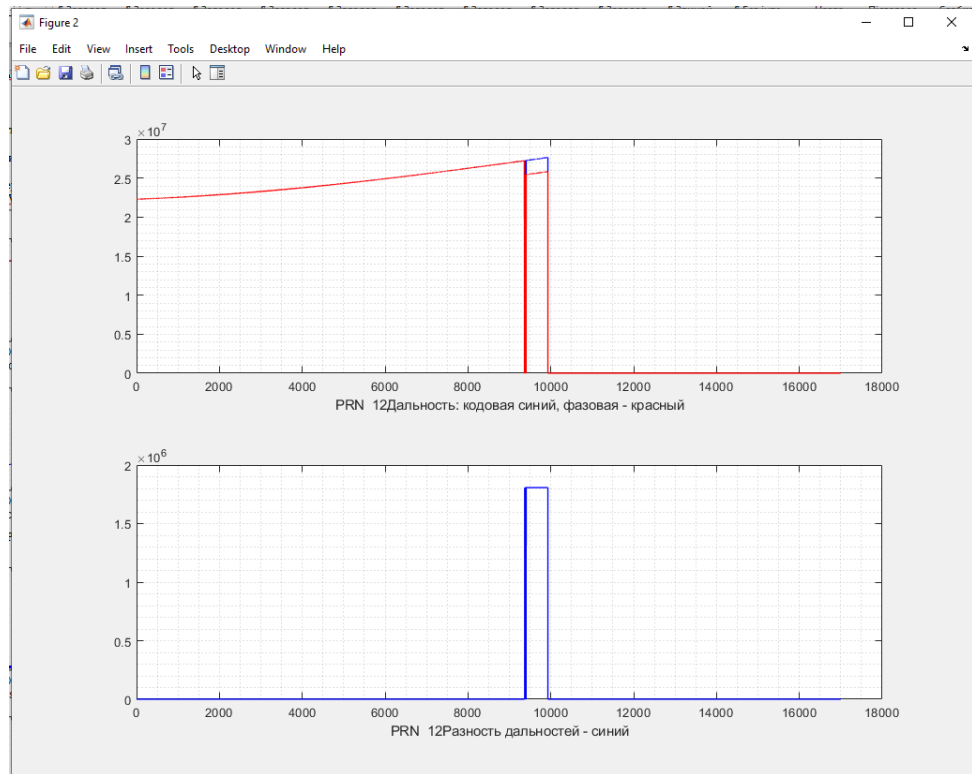


Рис. 3.19 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №12 (верхній графік)
та їх різниця (нижній графік)

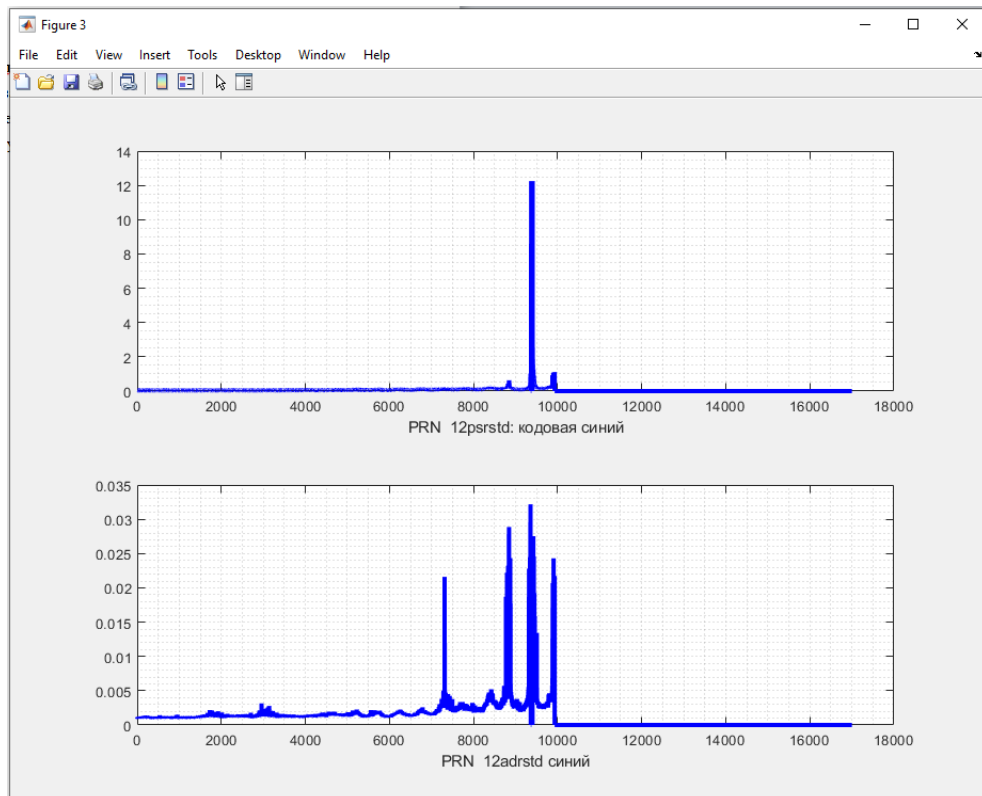


Рис. 3.20 СКВ визначення псевдодальності до супутника №12
кодової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

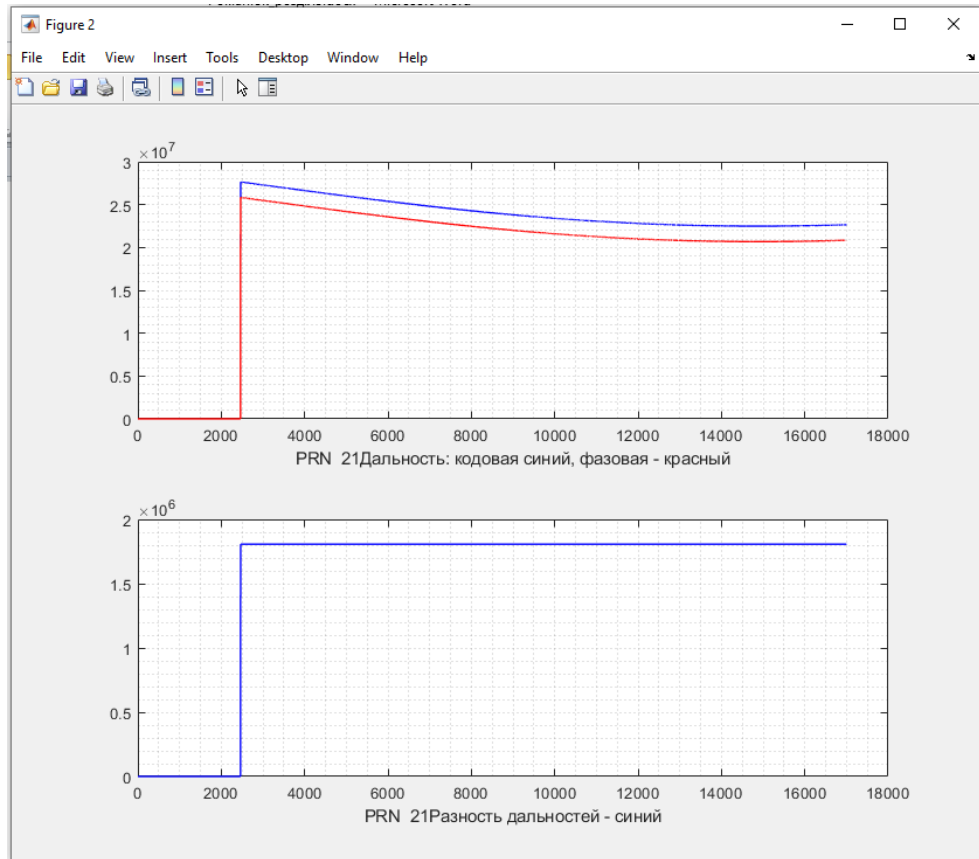


Рис. 3.21 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №21 (верхній графік)
та їх різниця (нижній графік)

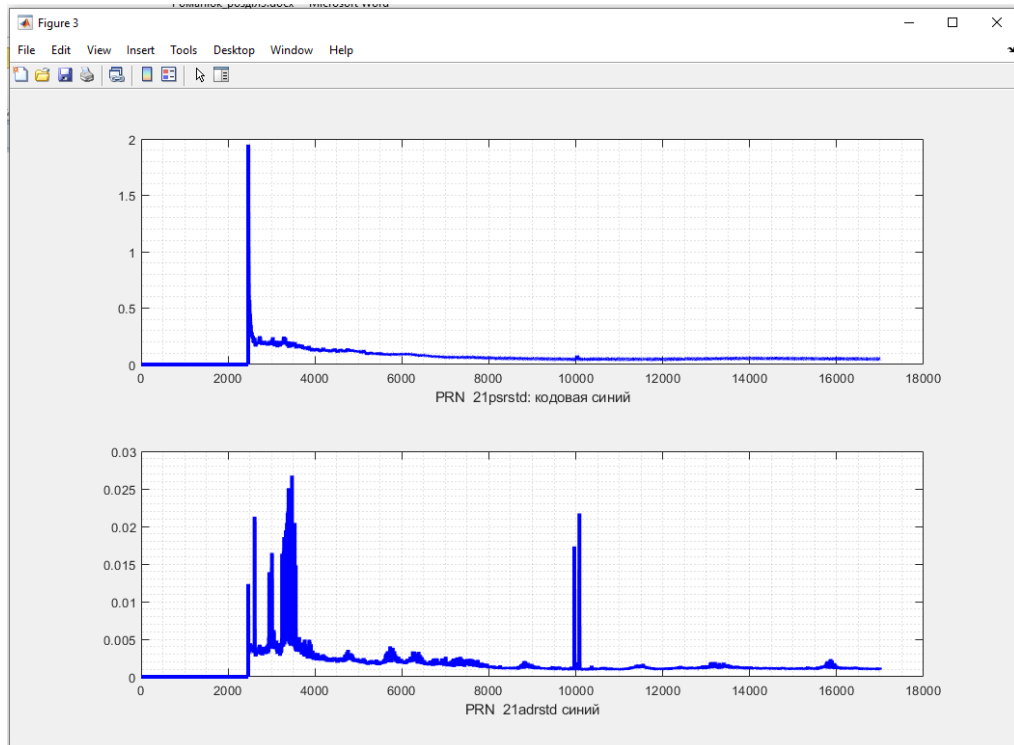


Рис. 3.22 СКВ визначення псевдодальності до супутника 21
кодової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

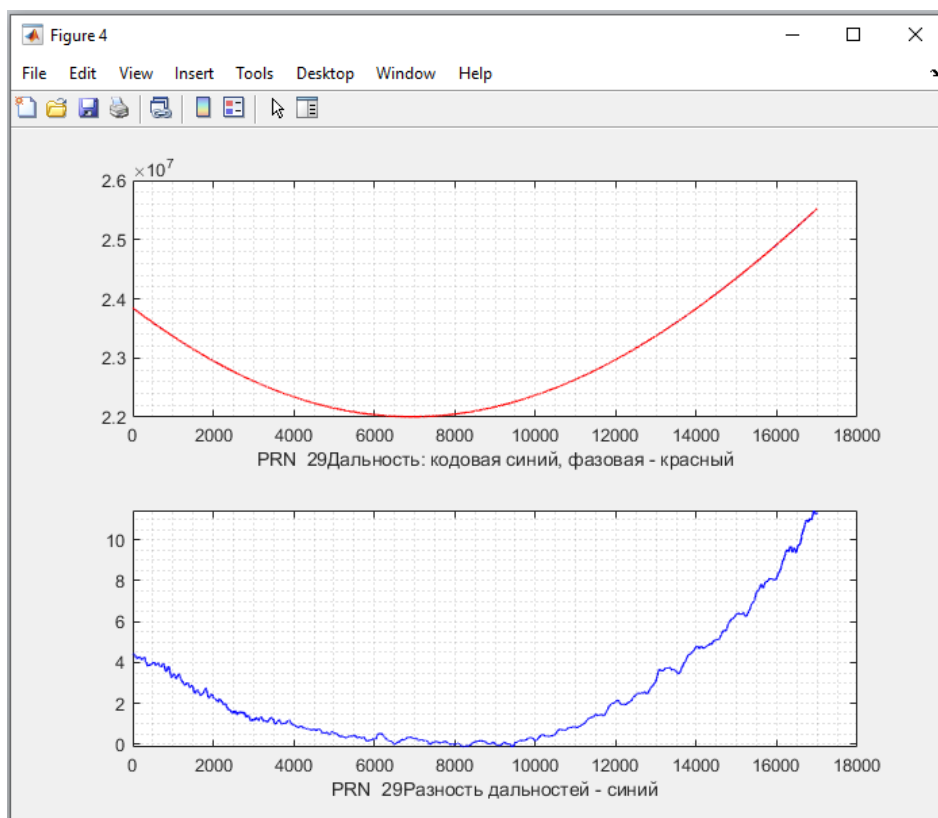


Рис. 3.23 Кодова та фазова псевдодальності до супутника №29 (верхній графік) та їх різниця (нижній графік)

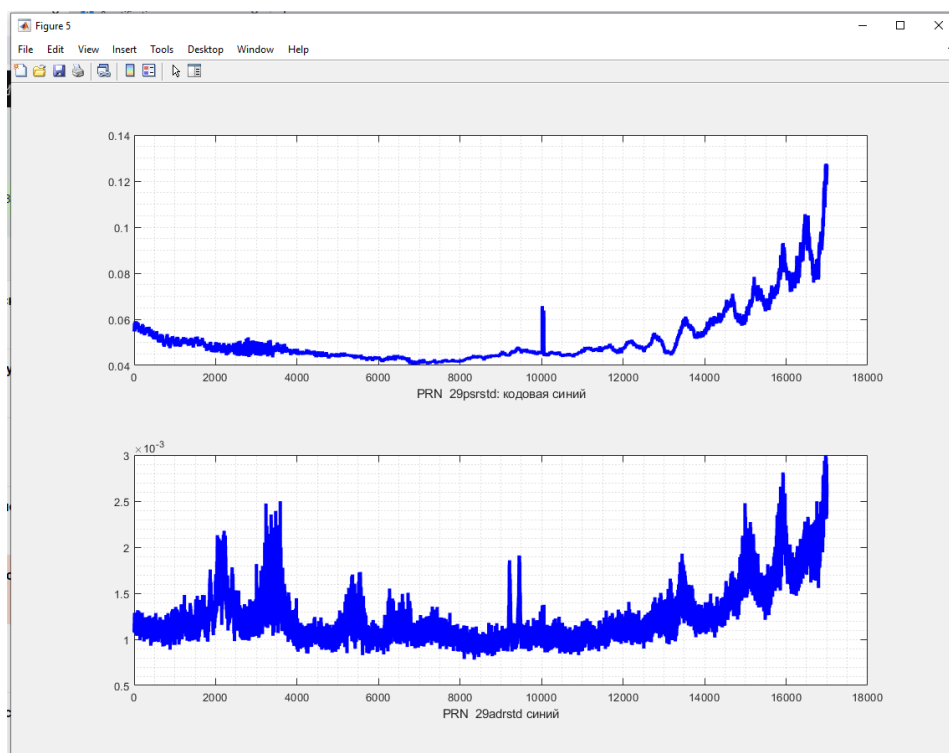


Рис. 3.24 СКВ визначення псевдодальності до супутника 29 кодової (верхній графік) та фазової (нижній графік)

3.2 Доплерівська частота

Як було доплерівського зсуву частоти в момент роботи із відповідним супутником. За допомогою MatLab програми CN_Dopler.m, частина лістингу якої приведена на рис.3.25 зазначено в підрозділі 3.1 повідомлення RANGE в полі Field 9 містить значення

```

1 - clear all
2 - PRN = 61;
3 - load In_dat/C_NL1.mat
4 - C_NL1 = C_N(1:PRN, :);
5 - load In_dat/C_NL2.mat
6 - C_NL2 = C_N(1:PRN, :);
7
8 - load In_dat/Doppler1.mat
9 - Doppler1 = Doppler(1:PRN, :);
10 - load In_dat/Doppler2.mat
11 - Doppler2 = Doppler(1:PRN, :);
12
13 - i = 25;
14 % ADR
15 - kS = 1;
16 - kF = 13756;
17 - k = 13756;
18 - D = kF + kS;
19 - x = kS : 1 : kF;
20 - figure %1
21
22 - plot(x,C_NL1(i,x), 'b',x,C_NL2(i, x), 'r' ), grid minor
23
24 - figure %2
25 - plot(x,Doppler1(i,x), 'b',x,Doppler2(i, x), 'r' ), grid minor
26
27 - figure %3
28 - for i = 1 : 61
29 -     hold on;
30 -     plot(x,C_NL1(i,x), 'b',x,C_NL2(i, x), 'r' ), grid minor
31 - end
32
33

```

Рис.3.25 Лістинг програми CN_Dopler.m

У строчці 13 за допомогою змінної i необхідно зазначити номер супутника для якого необхідно одержати графічний результат декодування інформації про доплерівський зсув частоти. Результати експериментальної обробки даних повідомлення RANGE цією програмою приведені на наступних рисунках.

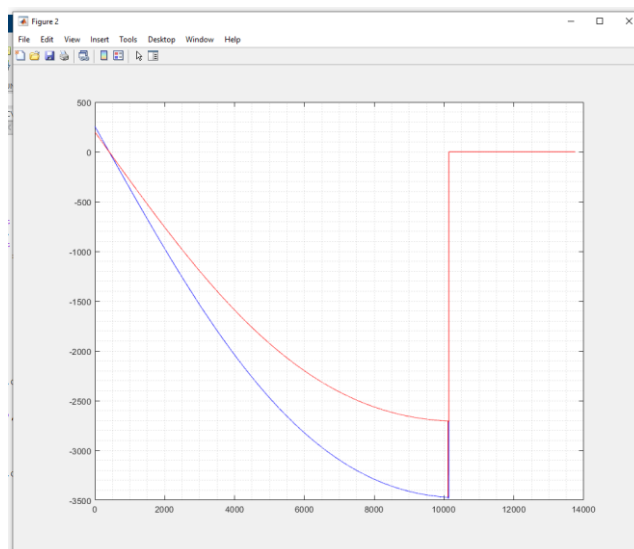


Рис. 3.26 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №2

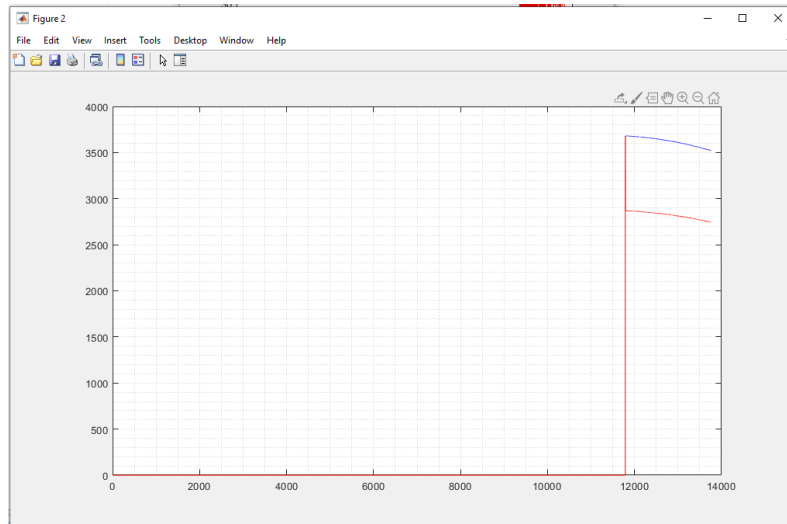


Рис. 3.27 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №3

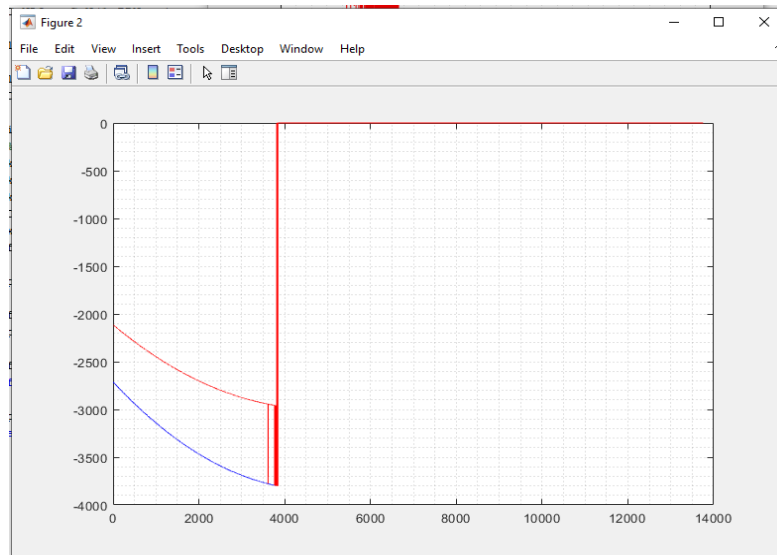


Рис. 3.28 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №4

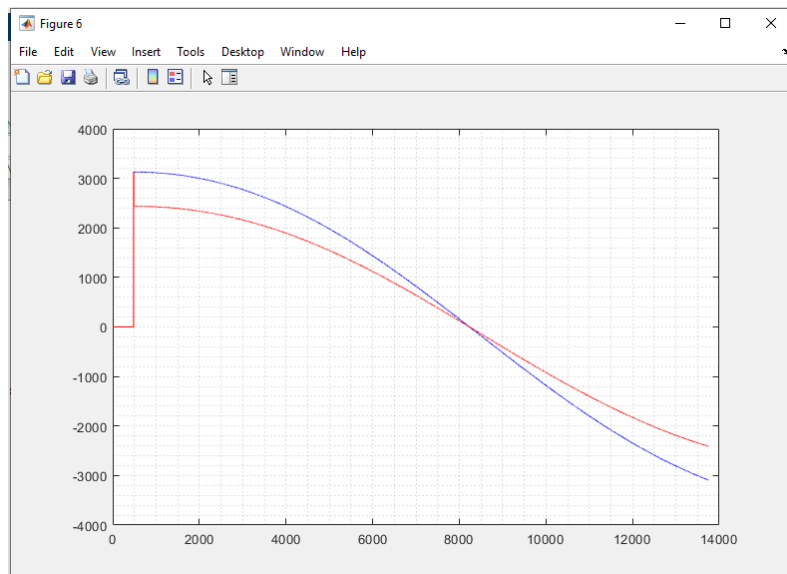


Рис. 3.29 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №5

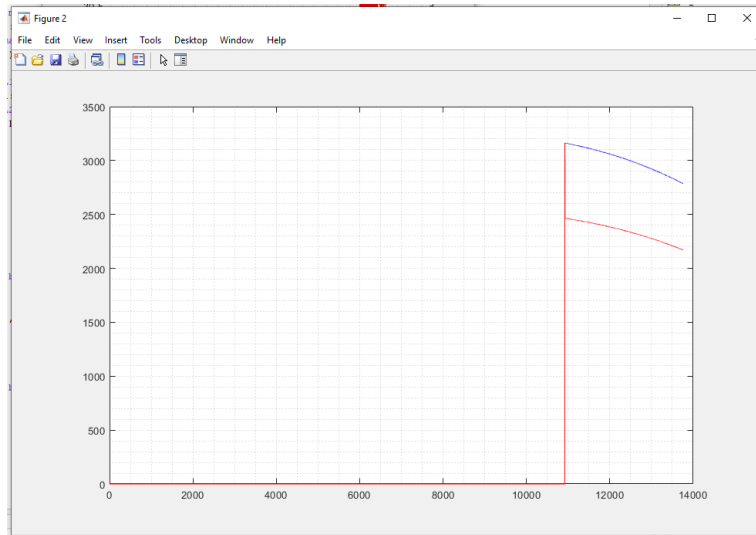


Рис. 3.30 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №6

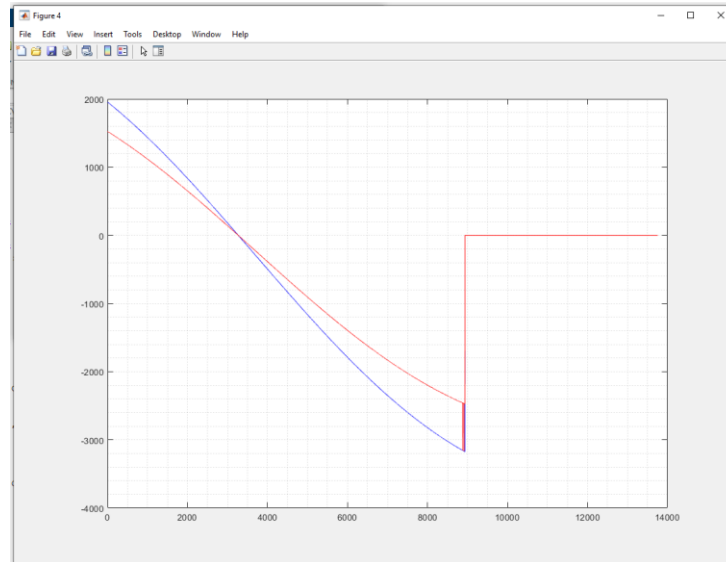


Рис. 3.31 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №10

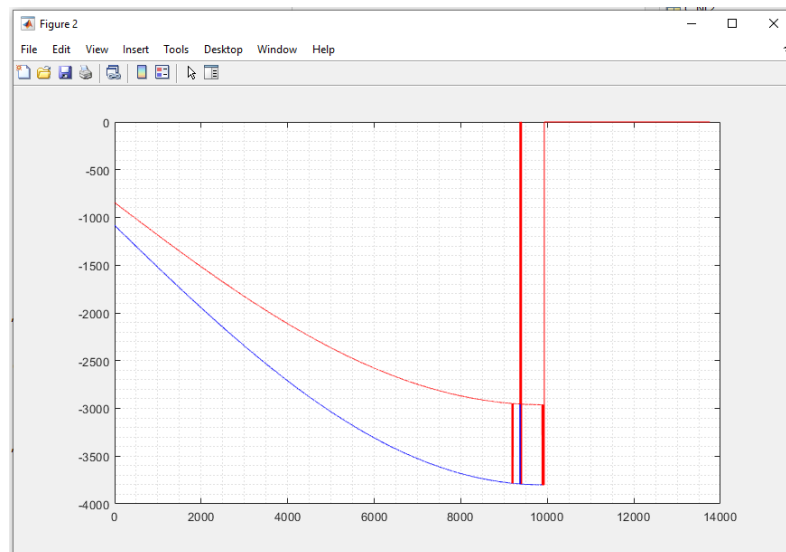


Рис. 3.32 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №12

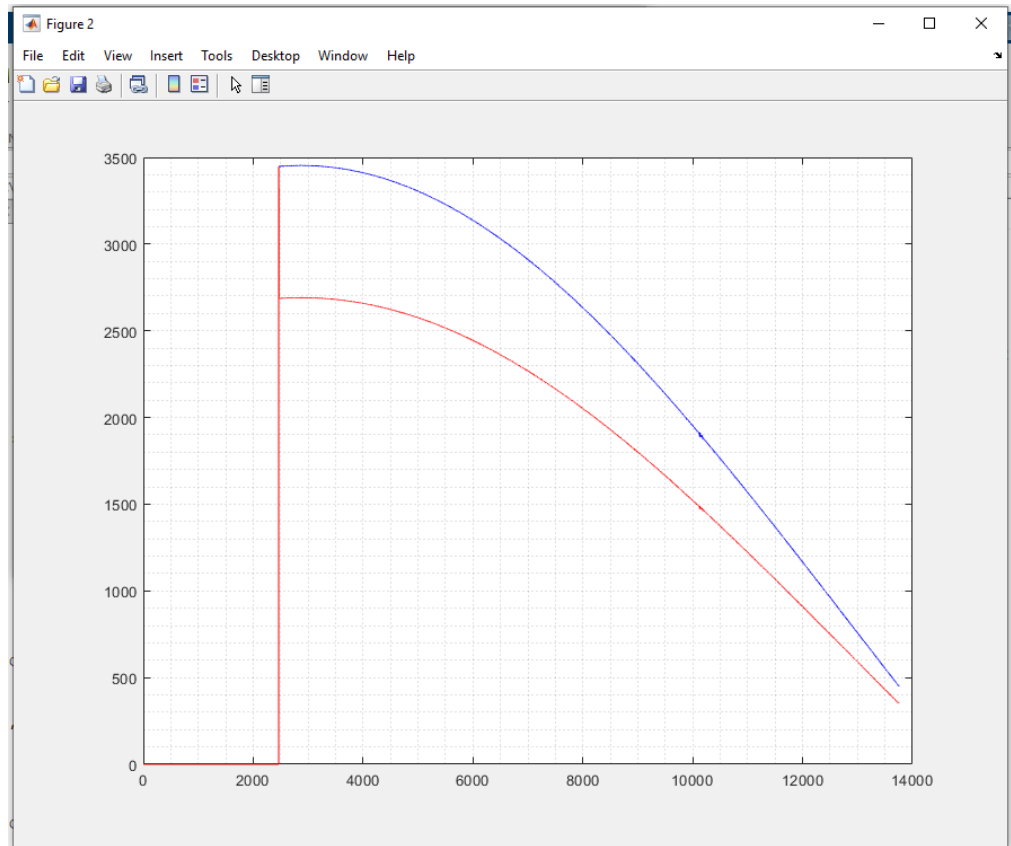


Рис. 3.33 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №21

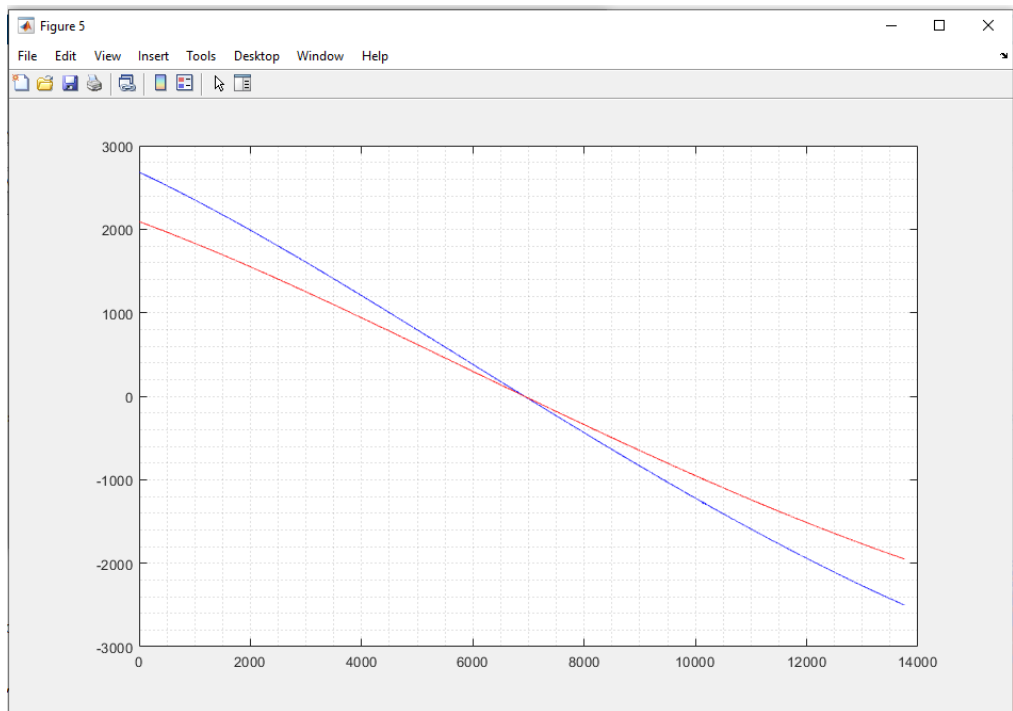


Рис. 3.33 Доплерівський зсув для частот L1 та L2 супутника №29

3.3 Відношення сигнал/шум

Важливою характеристикою супутникового сигналу є відношення його рівня до оточуючого шуму. Оскільки енергетичні характеристики радіосигналів загалом залежать від відстані між передавачем та приймачем, то в супутникових навігаційних системах разом зі зміною псевдовідстані відбуватиметься і зміна відношення сигнал/шум. Експериментальний запис містить цю інформацію і вона може бути декодована для тих самих номерів супутників із відповідного поля даних Field 10.

Графічні результати обробки цієї інформації містять дві криві, позначені синім та червоним кольорами – вони відповідають відношенню сигнал/шум на частотах L1 та L2.

На рис. 3.34 відтворені разом всі ці дані.

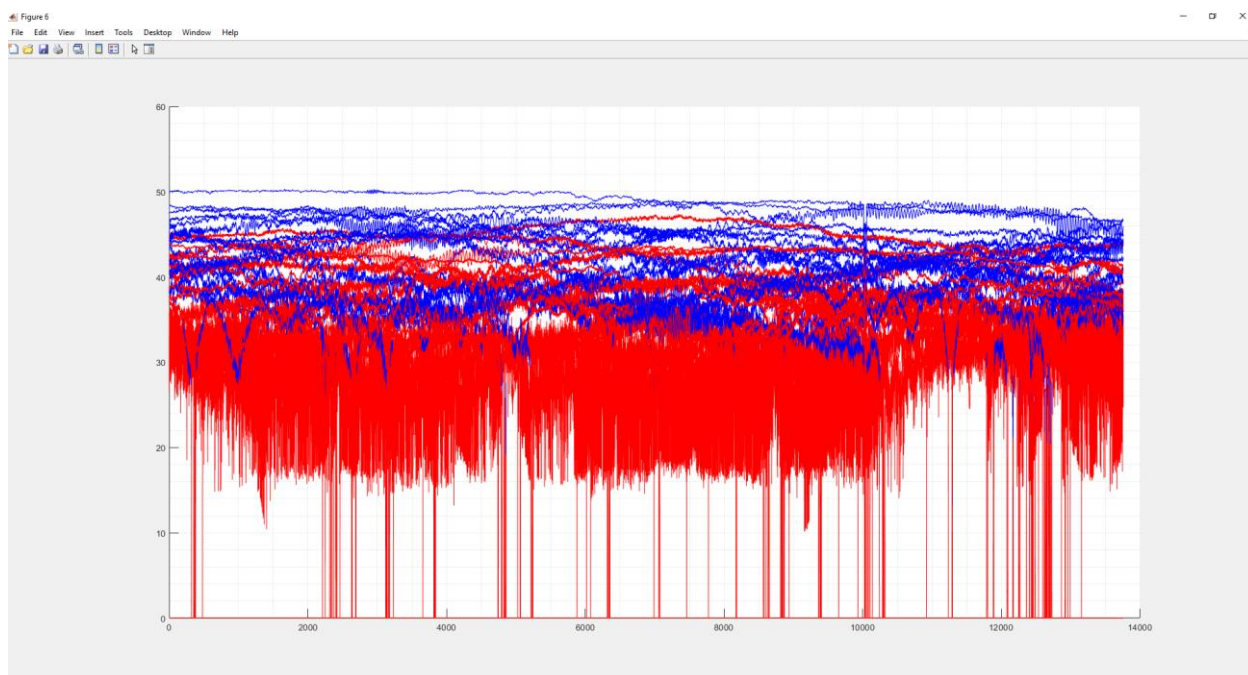


Рис. 3.34 Спільний графік відношення сигнал/шум для всіх присутніх в записі номерів супутників

Одержані окремо для кожного із супутників графічні результати експериментальної оцінки сигнал/шум для файлу запису повідомлення RANGE приведені на наступних графіках.

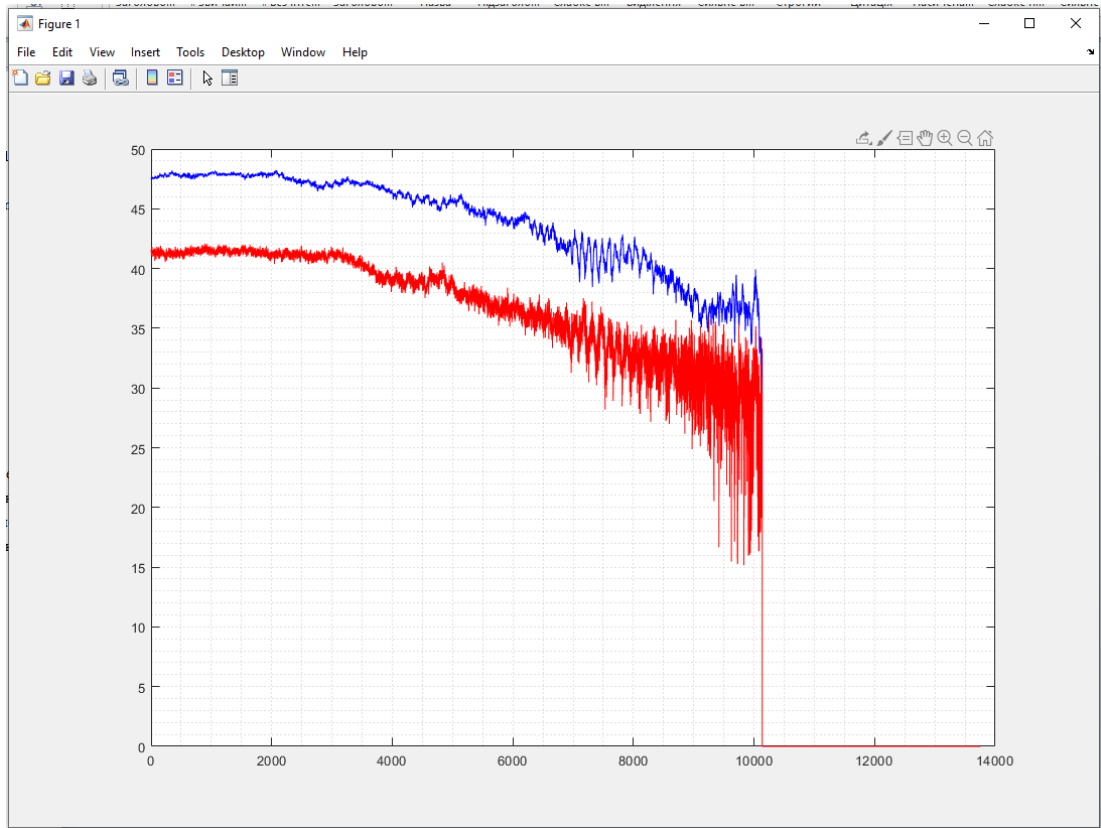


Рис. 3.35 Відношення сигнал/шум для супутника №2

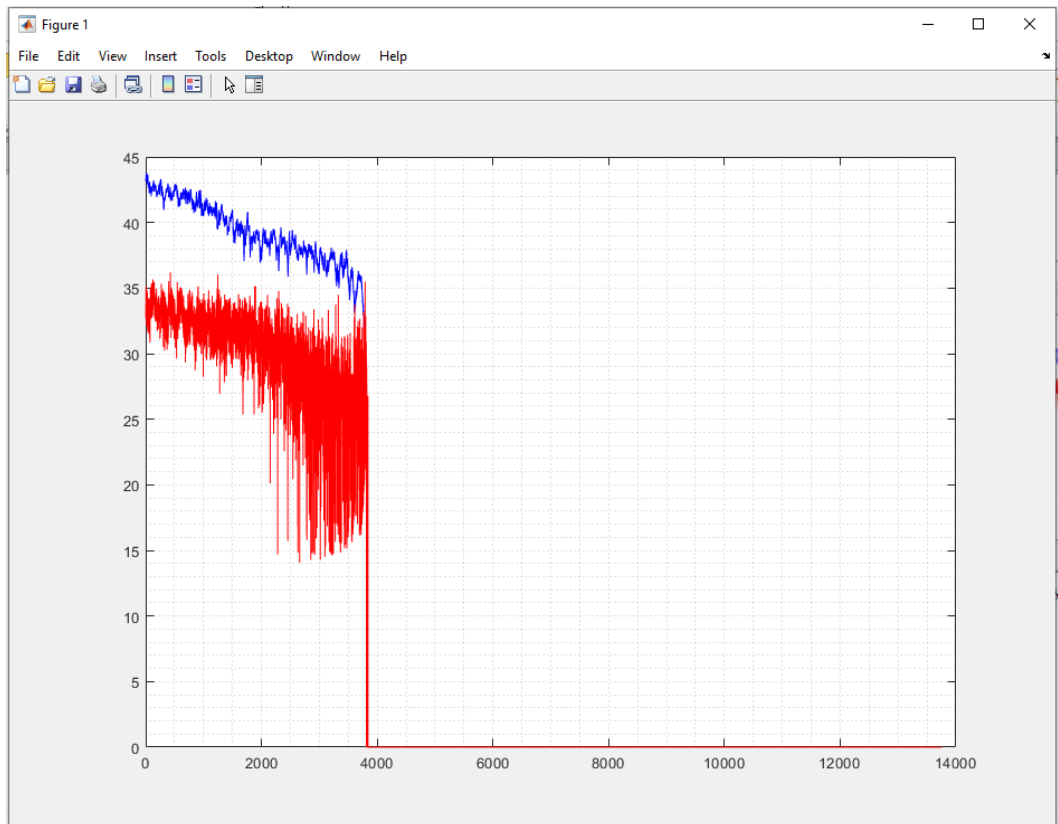


Рис. Відношення сигнал/шум для супутника №4

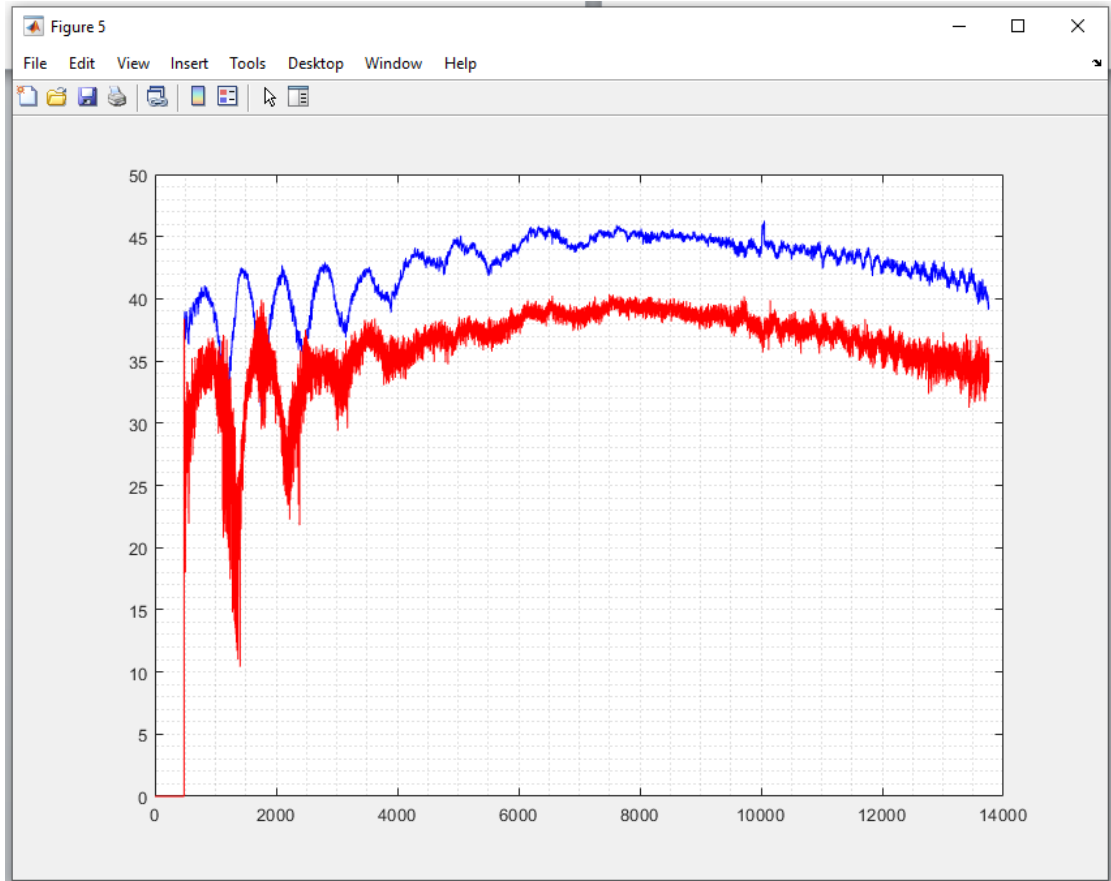


Рис. Відношення сигнал/шум для супутника №5

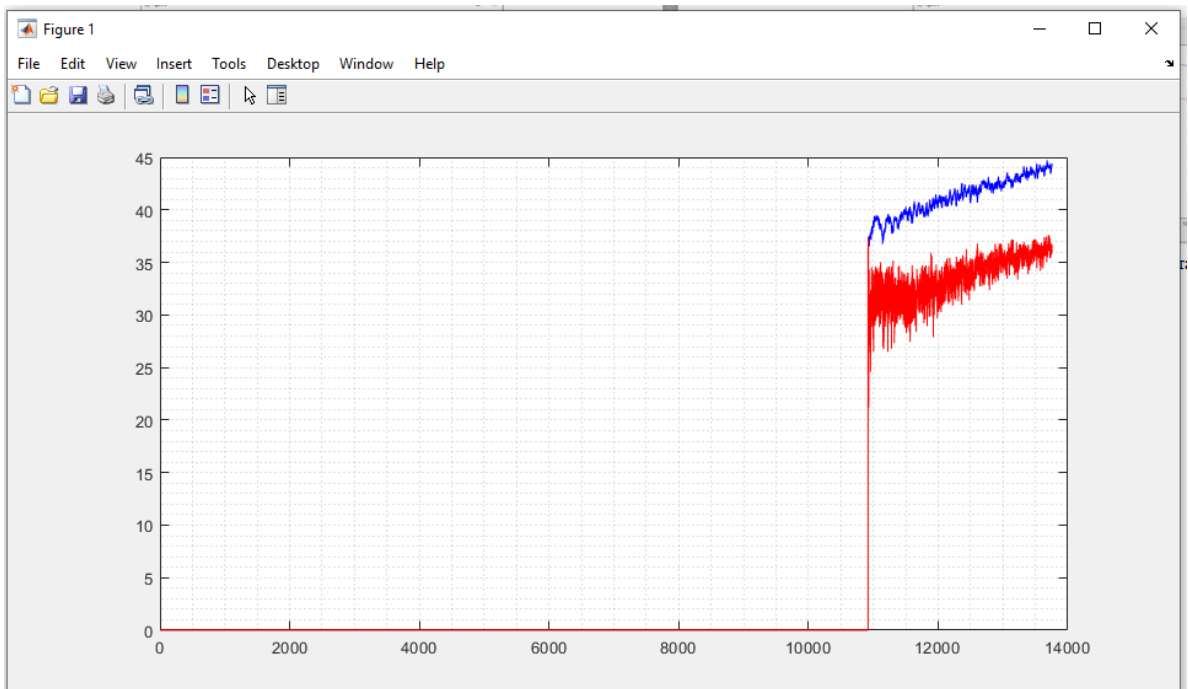


Рис. Відношення сигнал/шум для супутника №6

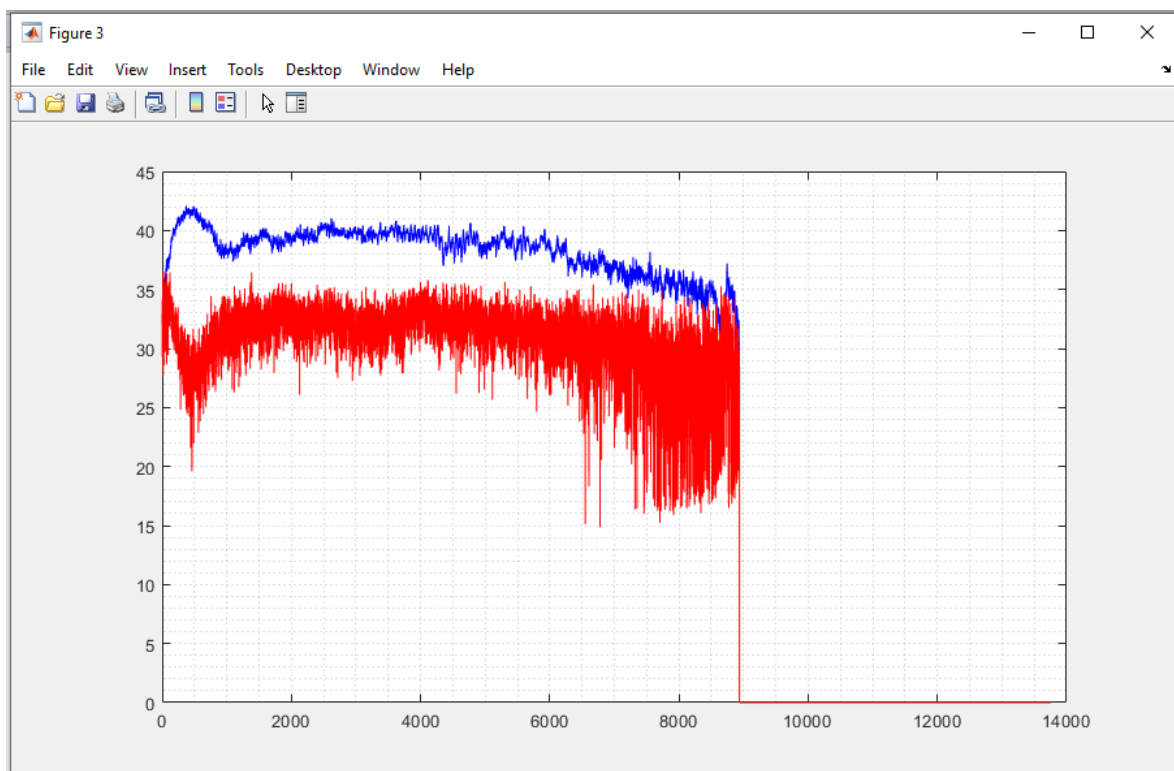


Рис. Відношення сигнал/шум для супутника №10

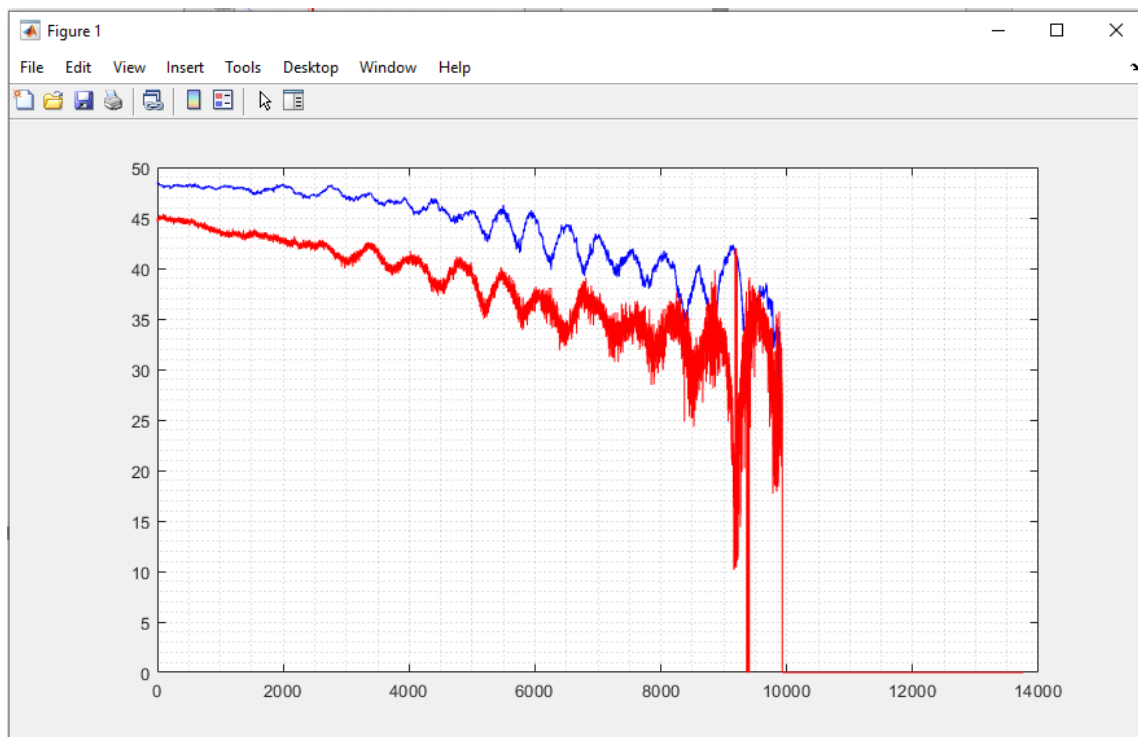


Рис. Відношення сигнал/шум для супутника №12

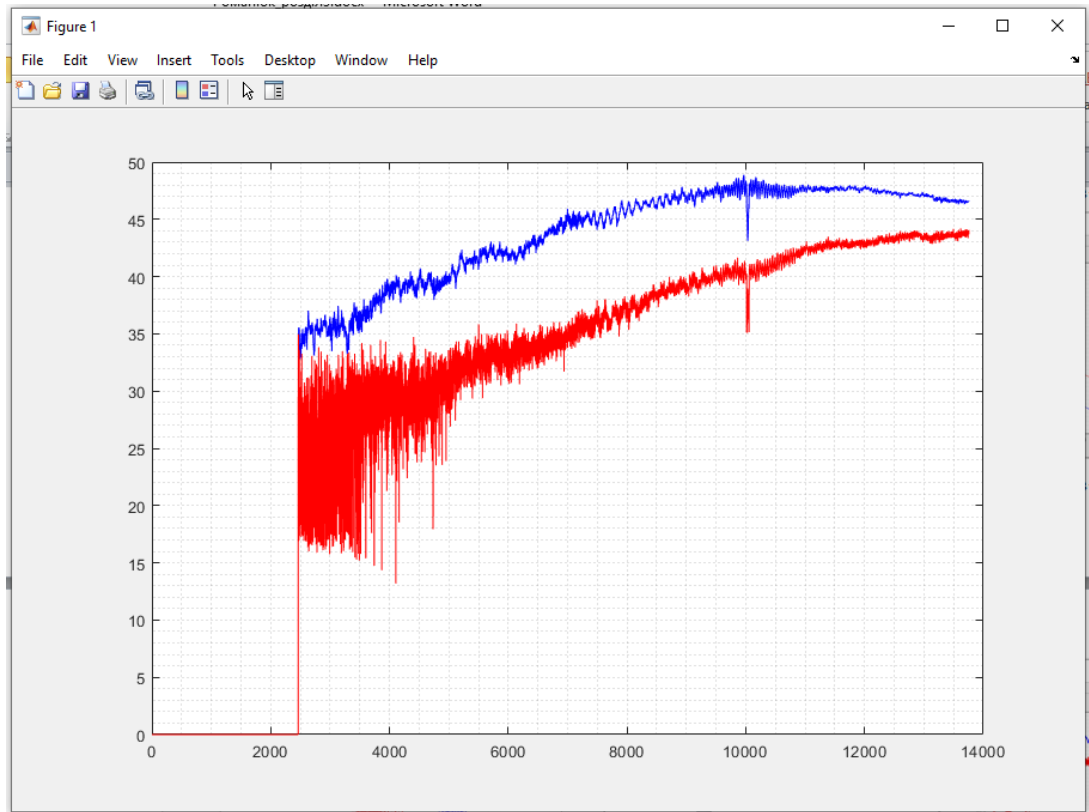


Рис. Відношення сигнал/шум для супутника №21

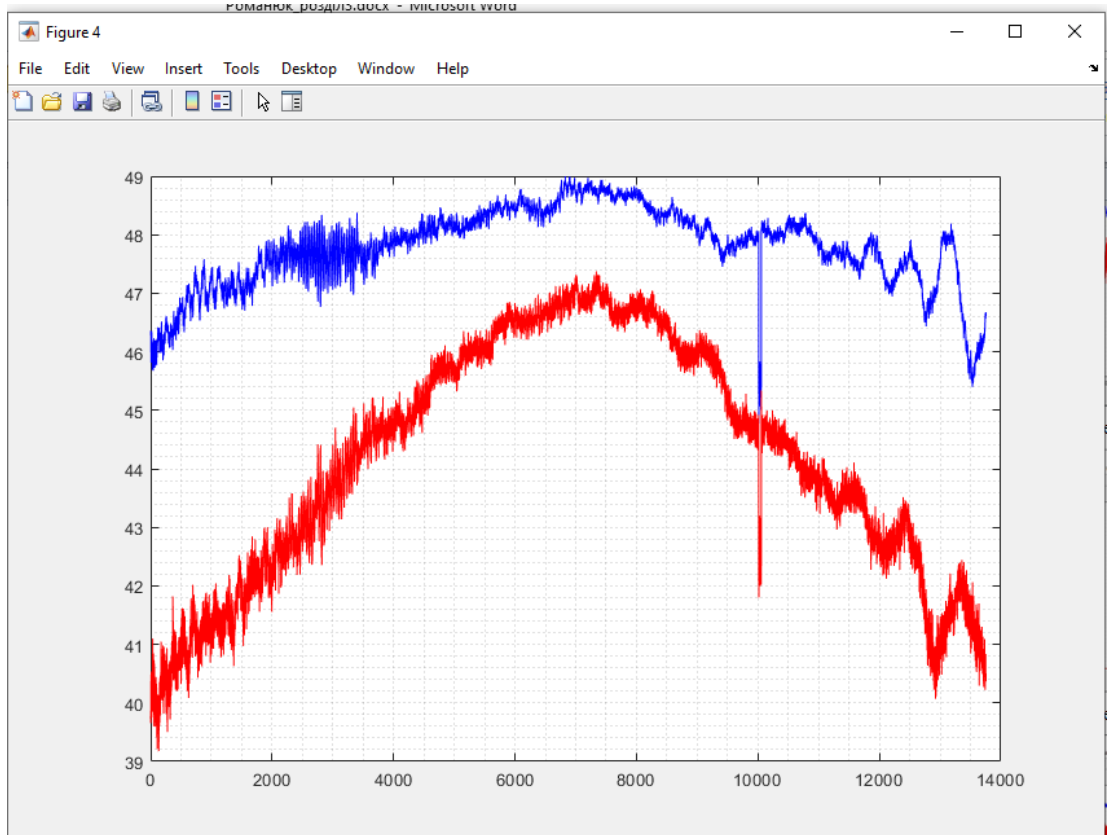


Рис. Відношення сигнал/шум для супутника №29

Висновки до розділу 3

В третьому розділі для досягнення поставленої в дипломній роботі мети було писано методику одержання експериментальних даних від системи GPS. В цих даних (повідомлення RANGE) містились результати вимірювання навігаційною станцією кодової та фазової псевдовідстані до всіх видимих супутників GPS, значення доплерівського зсуву частоти внаслідок їх руху відносно точки спостереження, а також важливий параметр сигнал/шум.

Записаний файл експериментальних даним було декодовано програмним продуктом, створеним в середовищі MatLab з візуалізацією одержаних результатів: графіків зміни псевдовідстаней, доплерівської частоти, відношення сигнал шум. Цей масив графічних результатів дозволяє оцінити характер та величину зміни основних радіонавігаційних параметрів, які задіяні у визначенні координат користувача в сучасних супутникових навігаційних системах.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ОБРОБКИ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ

Під ефективністю в рамках розрахунку доцільно вважати відношення розрахункового (очікуваного) прибутку по відношенню до суми витрачених на розробку і впровадження ресурсів. Економічна ефективність є не єдиним видом можливої ефективності. Також звернемо увагу на синергетичний результат за рахунок системної інтеграції різних видів ефективності, серед яких присутні наступні:

- Економічна
- Технічна
- Інформаційна
- Математичне моделювання і прийняття рішень
- Психологічна
- Соціальна
- Культурна
- Екологічна
- Ергономічна

Програмний комплекс обробки навігаційних даних сучасних супутникових навігаційних систем, якими виступають існуючі системи GPS, Galileo, Beidou, QZSS, IRNSS повинна бути економічно ефективною, в той же час вона повинна задовольняти різноманітні інтереси спільноти надавачів освітніх послуг і тих, хто формує на них запит. Вартість послуг для студентів завжди повинна враховуватися при оцінці будь-яких пропозицій щодо надання можливості на реалізацію права на освіту, закріпленого в Конституції України. Ринкова економіка, впровадження якої прийнято за основу в сучасній Україні, передбачає економічне стимулювання будь-якого виду творчої, наукової, технічної діяльності шляхом запиту плати за надані послуги або виконані роботи. В той же час висока вартість не може ставати бар'єром який не може подолати особа, яка прагне реалізувати надане Законом України про Освіту право.

Загальний алгоритм розрахунку рентабельності проекту передбачає врахування таких компонент як витрати на основний варіант реалізації кінцевої системи (авіаційний симулятор), а також її альтернативний варіант. Тут доцільно пригадати відому істину протиставлення таких категорій як Швидко-Якісно-Дешево. З цих трьох компонент можливо одночасно реалізувати лише дві за рахунок перетворення третьої на її повну протилежність.

Так створити можливо авіаційний Швидко і Якісно, але це буде Дорого. Можна обрати Якісний і Дешевий, але час на його створення при цьому може наближатись до Нескінченності.

Методологічна основа розрахунку полягає у використанні наступного алгоритму розрахунків, представленого послідовністю формул 5.1 – 5.4.

1. Витрати на основний варіант:

$$Z_{прб} = C_б + E_n \cdot K_б \quad (4.1)$$

2. Витрати на альтернативний (новий) варіант:

$$Z_{пра} = C_a + E_n \cdot K_a \quad (4.2)$$

$C_б$ - базові витрати;

$K_б$ – капіталовкладення;

E_n - норматив коефіцієнта ефективності інвестицій, $E_n = 0,15$.

1. Термін окупності додаткових капітальних вкладень

$$T_{ок} = \frac{K_a - K_б}{C_б - C_a} \quad (4.3)$$

2. Річний економічний ефект від впровадження нової системи

$$E_r = Z_{прб} - Z_{пра} = (C_б + E_n \cdot K_б) - (C_a + E_n \cdot K_a) \quad (4.4)$$

Для виконання розрахунку ефективності розробки системи авіаційного симулятора для навчання на контрактній основі закладемо наступні початкові дані в грошових одиницях гривня України.

Для *основного варіанту*, який виконуватиметься по підходу Швидко і Якісно:

$$C_б = 1500\ 000$$

Тоді витрати на базовий варіант з урахуванням нормативу коефіцієнта ефективності інвестицій на рівні $E_H = 0,15$ складе згідно з (4.1):

$$Z_{\text{прб}} = C_б + E_H \cdot K_б = 1500000 + 0,15 \cdot 1000000 = 1650000$$

Альтернативний варіант заплануємо реалізувати по схемі Якісно і Дешево з наступними вхідними даними:

$$C_a = 500\ 000$$

$$K_a = 800\ 000$$

Тоді витрати на базовий варіант з урахуванням нормативу коефіцієнта ефективності інвестицій на рівні $E_H = 0,15$ складе згідно з (4.2):

$$Z_{\text{пра}} = C_a + E_H \cdot K_a = 500000 + 0,15 \cdot 800000 = 620000$$

Для одержаних результатів виконаємо розрахунок терміну окупності додаткових капітальних вкладень за формулою (4.3):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_a - K_б}{C_б - C_a} = \frac{800000 - 1000000}{1500000 - 500000} = -0,2$$

При цьому річний економічний ефект, який розраховується за формулою (4.4) буде наступним:

$$\begin{aligned} E_{\Gamma} &= Z_{\text{прб}} - Z_{\text{пра}} = (C_б + E_H \cdot K_б) - (C_a + E_H \cdot K_a) = \\ &= 1650000 - 620000 = 1030000 \end{aligned}$$

Одержані результати повністю підтверджуються при автоматизації розрахунків шляхом використання Excel-файлу, результати у вигляді принт-скрину з якого приведені на рис. 4.1

Підсумовуючи проведений розрахунок доцільно ще раз звернути увагу на те що економічна ефективність при всій своїй очевидності не є єдиним варіантом оцінки загального рівня ефективності, про що є відомості на початку даного розділу.

3_Економічна ефективність.xlsx - Microsoft Excel

Файл Основне Вставка Розмітка сторінки Формули Дані Рецензування Видгляд

Вирізати Копіювати Вставити Формат за зразком Буфер обміну Шрифт Вирівнювання Число Стилі

Салбіт 11 A A

Перенесення тексту

Загальний

Звичайний Добре Поганий Середній

Ввід Зв'язана клі... Контрольна... Обчислення

Умове форматування як таблицю

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W |
|----|-------------------|-----|---|---------------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | Варіант підприємства | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | Основний Новий (альтернативний) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Кількість АРМ | | | 5 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Вартість ПК | | | 1000000 | 500000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Зпт | | | 600 | 200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | Основний Новий (альтернативний) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Базові витрати | C | | 1500000 | 500000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Капіталовкладення | K | | 1000000 | 800000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Витрати | Зпр | | 1650000 | 620000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Термін окупності | | | -0.19417 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | Річний ефект | | | 1030000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Алгоритм розрахунку рентабельності проекту.

1. Витрати на основний варіант: $Z_{прб} = C_б + E_n \cdot K_б$

2. Витрати на альтернативний (новий) варіант: $Z_{пра} = C_a + E_n \cdot K_a$

Сб - базові витрати;
Кб - капіталовкладення;
Ен - норматив коефіцієнта ефективності інвестицій, Ен = 0,15.

1. Термін окупності додаткових капітальних вкладень $T_{ок} = \frac{K_a - K_б}{C_б - C_a}$

2. Річний економічний ефект від впровадження нової системи $E_r = Z_{прб} - Z_{пра} = (C_б + E_n \cdot K_б) - (C_a + E_n \cdot K_a)$

Рисунок 4.1 – Автоматизація розрахунку економічної ефективності засобами Excel

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Розрахунок освітленості робочої зони

Під час роботи на авіаційному симуляторі рівень освітленості має бути оптимальним. При надмірному освітленні виникає швидка утомлюваність працівників, що може призвести до втрати працездатності та травми. Природне освітлення приміщення здійснюється боковим світлом крізь отвори в зовнішніх стінах або крізь прозорі частини стін.

Основна величина для розрахунку освітлення – КПО. Він залежить від широти місцевості, пори року та погоди. За ним проводиться нормування природнього освітлення.

При односторонньому боковому освітленні нормується мінімальне значення КПО в точці, розташованій на відстані 1 метр від найбільш віддаленої від світлових отворів стіни, на перетині характерного розміру приміщення та умовної робочої поверхні.

Методика розрахунку викладена в [8]. Згідно СНиП II-4-79/85 нормоване значення КПО для робіт високої точності (об'єкт розрізнення від 0.3 до 0.5 мм) зі середнім контрастом об'єкту розрізнення та середнім фоном для III-го поясу $e_H^{III} = 2.0\%$. Для м. Київ (IV пояс світового клімату) КПО:

$$e_H^{IV} = e_H^{III} \cdot m \cdot c, \text{ де} \quad (5.1)$$

e_H^{IV} -КПО для III-го поясу

m – коефіцієнт світового клімату; по таблиці 1.2 з [8] знаходимо $m=0.9$

c - коефіцієнт сонячності клімату по табл. 1.3 з [8], для світлових отворів орієнтованих за азимутом 70 град. коефіцієнт $c=0.8$

$$e_H^{IV} = 2 \cdot 0.9 \cdot 0.8 = 1.44 \quad (5.2)$$

Фактичне значення КПО для бокового освітлення розраховуємо за формулою

$$e_P^{\circ} = (\varepsilon_{\delta} \cdot q + \varepsilon_{зд} \cdot R) \cdot r_1 \cdot \tau_0 / K_3, \text{ де} \quad (5.3)$$

$\varepsilon_{\theta}, \varepsilon_{зд}$ - геометричні КПО в точці розрахунку при боковому освітленні, що враховують пряме світло неба та світло, що відбилося від протилежної будівлі відповідно;

$n1, n1', n2, n2'$ - кількість променів за графіками I та II [8], що проходять від неба та протилежної будівлі в точку розрахунку при поперечному розрізі і плані приміщення;

$$\varepsilon_{\theta} = 0.01(n1 \cdot n2) \quad (5.4)$$

$$\varepsilon_{зд} = 0.01(n1' \cdot n2') \quad (5.5)$$

q - коефіцієнт, що враховує нерівномірну яскравість хмарного неба з таблиці 2.4 [8] для кутової висоти середини світлового отвору над робочою поверхнею (рис. 4.1).

R - коефіцієнт, що враховує відносну яскравість протилежної будівлі, для кирпичної будівлі з врахуванням індексів протилежної будівлі в плані $Z1$ та в розрізі $Z2$.

$$Z1 = \frac{l_n \cdot l}{(p+l)a}; \quad Z2 = \frac{H \cdot l}{(p+l)a}; \quad (5.6)$$

l_n, H - відповідно довжина та висота протилежної будівлі;

l - відстань від точки розрахунку в приміщенні до зовнішньої поверхні зовнішньої стіни;

p - відстань між будівлями, що розглядаються;

a - ширина вікна у плані;

$r1$ - коефіцієнт, що враховує збільшення КПО при боковому освітленні через відбиття від поверхонь приміщення та підстилаючого слою. Залежить від відношення глибини B до висоти гори вікна до рівня робочої поверхні $h1$, відношення l до B , та відношення довжини приміщення $l_{пом}$ до його глибини B , середньозваженого коефіцієнта відбиття поверхонь приміщення ρ_{CP} :

$$\rho_{CP} = \frac{\rho_1 S_1 + \rho_2 S_2 + \rho_3 S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \quad (5.7)$$

ρ_1, ρ_2, ρ_3 - коефіцієнти відбиття відповідно стелі, стін, полу з [8]

S_1, S_2, S_3 - площі відповідно стелі, полу та стін;

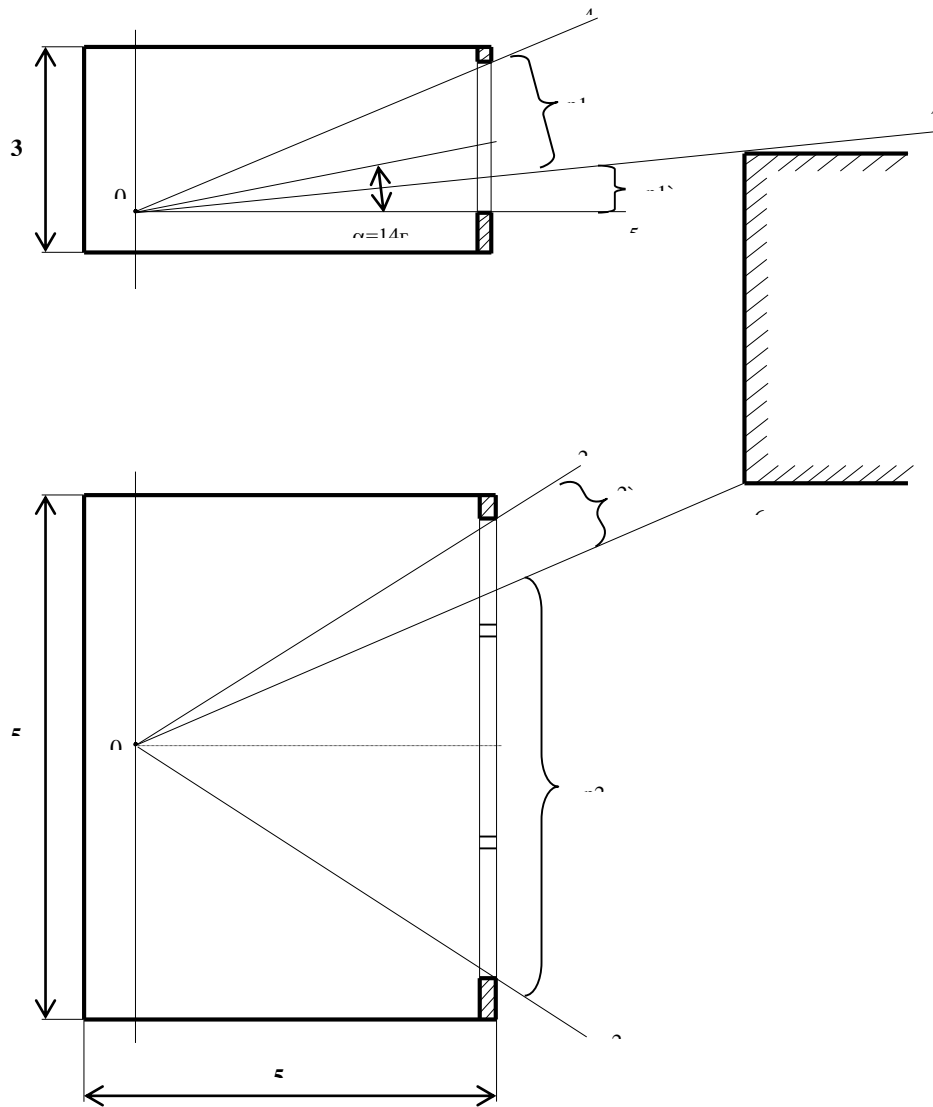


Рисунок 5.1 - Поперечний розріз та план приміщення

τ_0 - загальний коефіцієнт пропускання світла;

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5 \quad (5.8)$$

τ_1 - коефіцієнт пропускання світла матеріалу скління з таблиці 1.8 [8] для подвійного віконного листового скла;

τ_2 - коефіцієнт, що враховує втрати в рамах вікна з таблиці 1.9. [8]

K_3 - коефіцієнт запасу, визначається по таблиці 1.12 [8].

Значення параметрів, що визначаються за таблицями [8], а також за планом та розрізом приміщення, результати проміжних підрахунків зведені до табл. 5.1, підставляючи числові значення знаходимо:

$$\varepsilon_6 = 0.01(4 \cdot 31) = 1.24$$

$$\varepsilon_{зд} = 0.01(1 \cdot 19) = 0.19 \quad Z1 = \frac{30 \cdot 4.25}{(40 + 4.25)3.6} = 0.8 \quad Z2 = \frac{10 \cdot 4.25}{(40 + 4.25)3.6} = 0.27$$

Таблиця 5.1 - Вихідні дані і значення коефіцієнтів для розрахунку КПО

| Вихідні дані та коефіцієнти | Значення | Вихідні дані та коефіцієнти | Значення |
|-----------------------------|----------|-----------------------------|---------------|
| $n1$ | 4 | ρ_2 | 0,7жжжжжжжжжж |
| $n1'$ | 1 | ρ_3 | жжжж |
| $n2$ | 31 | S_1 | 0,1 |
| $n2'$ | 19 | S_2 | $25 m^2$ |
| ε_6 | 1.24 | S_3 | $49 m^2$ |
| $\varepsilon_{зд}$ | 0.19 | | $25 m^2$ |
| α | 14 | $\rho_{ср}$ | 0,55 |
| q | 0.64 | $B/h1$ | 2,4 |
| l_n | 30м | l / B | 0,8 |
| H | 10м | $l_{пом} / B$ | 1 |
| l | 4,25м | r_1 | 2,5 |
| p | 40м | | |
| a | 3,6м | τ_1 | 0,8 |
| hl' | 2,8м | τ_2 | 0,7 |
| hl | 2,1м | τ_3 | 1 |
| B | 5м | τ_4 | 1 |
| $l_{пом}$ | 5м | τ_5 | 1 |
| $Z1$ | 0,8 | τ_0 | |
| $Z2$ | 0,27 | K_3 | 0,56 |
| ρ_1 | 0,7 | R | 1,5 |
| | | | 0,25 |

$$\rho_{ср} = \frac{0.7 \cdot 2.5 + 0.7 \cdot 49 + 0.1 \cdot 25}{25 + 49 + 25} = 0.55, \quad \tau_0 = 0.8 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 1 = 0.56$$

В результаті отримуємо:

$$e_p^o = (1.24 \cdot 0.64 + 0.19 \cdot 0.25) \cdot 2.5 \cdot 0.56 / 1.5 = 0.79$$

Розрахований КПО в 2 рази менше нормованого. Значить робочі місця необхідно розташовувати до вікон приміщення, так щов вони знаходились в зоні, в межах якої фактичне значення КПО більше або дорівнює нормованому, або необхідно застосовувати спільне освітлення при відповідній йому нормі КПО $e_H^{III} = 0.9$ при цьому за формулою (4.2) визначаємо:

$$e_H^{IV} = 0.9 \cdot 0.8 \cdot 0.75 = 0.55$$

При цьому норми СНиП II-4-79/85 будуть дотримані в межах усього приміщення.

Проведемо перевірочний розрахунок штучного освітлення за методикою викладеною в [9]. На рис 4.2 схема для визначення умов застосування методів розрахунку. При рядах невеликої протяжності ($\ln/n < 3$), фактичну освітленість робочої поверхні визначаємо за формулою

$$E = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \cdot \varphi_i}{1000 \cdot K_3 \cdot h^2 \cdot l_p} \quad (5.9)$$

N – кількість світильників в приміщенні;

n – кількість ламп в світильнику;

$\Phi_{\text{л}}$ - світловий потік лампи, лм;

μ - коефіцієнт, що враховує збільшення освітленості;

ε_i - відносна освітленість в точці розрахунку, створювана i -м полурядом світильників.

φ_i - коефіцієнт запасу;

h – висота підвісів світильнику; $h = 3 - 0.3 - 0.8 = 3\text{м}$

l_p – довжина ряду світильників; $l_p = 3.4\text{м}$

Для ламп типу ЛБ40, застосовуємих для освітлення даного приміщення, світловий потік за таблицею 1.1.[9] $\Phi_{\text{л}} = 3120\text{лм}$

Маємо $n=4$, $N=4$, $K_3=1.5$, $\mu=1.2$, $m=2$

Для визначення табличного значення функції ε знаходимо відношення $p' = p/n$,

де p – відстань від точки розрахунку до проекції ряду світильників на горизонтальну площину.

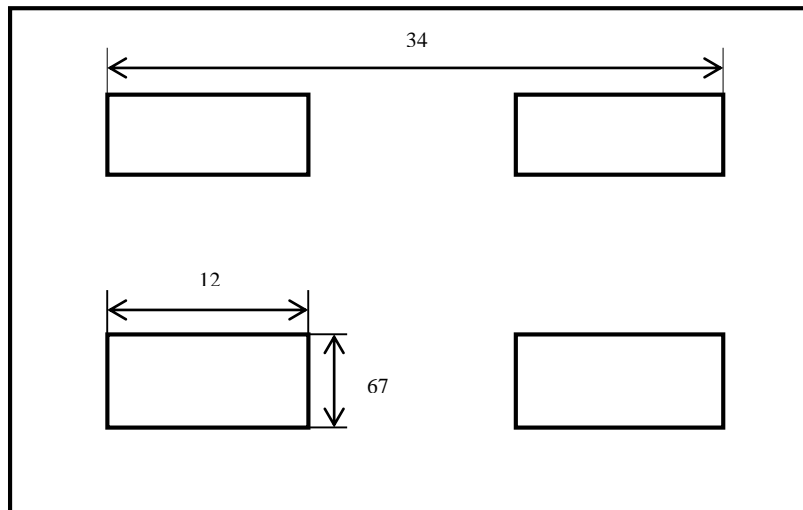
$l' = l2/n$, $l2$ – відстань від точки розрахунку до стіни.

$$p' = 1/4 = 0.25 \quad l' = 2.5/4 = 0.62$$

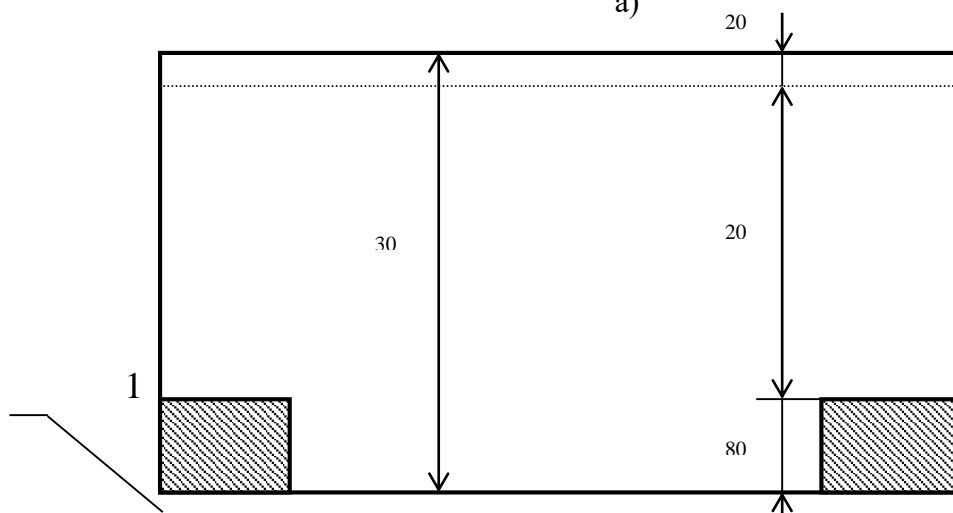
Для кута $\alpha = 25$ під яким падає світло $U\alpha = 162 \text{ лм}$. За табл.1.10 [9] по $U\alpha$, для світильників 9-ої групи визначаємо $f(p', l') = 0.55$ Тоді $\varepsilon = f(p', l') U\alpha = 0.55 \cdot 162 = 89$

Підставляючи числові дані отримуємо:

$$E = \frac{4 \cdot 4 \cdot 3120 \cdot 1.2 \cdot 8.9}{1000 \cdot 1.5 \cdot 4 \cdot 3.4} = 560 \text{ лк}$$



а)



б)

Рисунок 5.2 – Схема для застосування методу

а) розташування світильників

б) визначення відстані від світильників до поверхні столів (1 – робочі місця)

За таблицею визначаємо значення нормованої освітленості. Для робіт високої точності (об'єкт розрізнення від 0.3 до 0.5 мм) з середнім контрастом об'єкту розрізнення з фоном при середньому фоні знаходимо $E_n=500лк$.

Через те що розраховане фактичне значення освітленості більше нормованого, робимо висновок про придатність системи освітлення в приміщенні.

5.2 Пожежна та вибухова безпека

Деякі речовини та матеріали, що застосовуються на участку монтажу пожежовибухонебезпечні. Ці речовини та деякі їх характеристики, а також засоби пожежогасіння наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Пожежонебезпечні речовини, що застосовуються під час виробництва печатного вузла.

| Найменування речовини | Температура загорання | Температура самозайняття | Межі вибуховості | | Засоби пожежогасіння |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---|
| | | | Нижня | Верхня | |
| Каніфоль | | 8 50 °C | 12, 6 г/м ³ | - | Хімічна та повітряно-механічна піна, роспилена вода |
| Спирт етиловий бензиновий | 8 °C | 1 04 °C | 3,6 %; 68 г/м ³ | 19%; 340 г/м ³ | Хімічна піна, вода, інертні газ |
| Бензини | 7-44 °C | 2 55-474 °C | 0,7 6-1,1% | 5,16- 8,12% | Піна, водяний пар, інертні газ |
| Скло-текстолит | | - | - | - | Вода, хімічна піна |

Для того аби визначити категорію приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою у відповідності до ОНТП 24-86, необхідно розрахувати надмірний тиск вибуху в приміщенні. Надмірний тиск вибуху визначимо за наступною формулою:

$$\Delta P = [P_{MAX} - P_0] \frac{m \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_{ГП}} \cdot \frac{100}{C_{СТ}} \cdot \frac{1}{K_u} \quad (5.9)$$

P_{MAX} - максимальний тиск вибуху стехіометричної газо-повітряної або пароповітряної суміші в замкненому об'ємі ($P_{MAX} = 750 \text{кПа}$);

P_0 - початковий тиск, $P_0 = 101 \text{кПа}$;

m – маса горючої речовини, кг;

Z – площа випару, m^2 ;

V_{CB} - вільний об'єм приміщення;

$\rho_{ГП}$ - щільність пару та газу ($\rho_{\text{етилового спирта по воздуху}} = 1.6 \text{кг/м}^3$)

$C_{ст}$ – стехіометрична концентрація горючого газу або парів, %;

Ku - коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення та недиабатність процесу горіння, $Ku=3$;

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_{CB} = 0.8 \cdot V_{ПОЛН} \quad (5.10)$$

Стехіометрична концентрація визначається за формулою

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4.84 \cdot \beta} \quad (5.11)$$

β - стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння.

$$\beta = n_e + \frac{n_n + n_x}{4} - \frac{n_0}{2} \quad (5.12)$$

n_0, n_x, n_n, n_e - число атомів С, Н, О та галоїдів в молекулі горючого;

Розраховуємо ΔP за вищенаведеною методикою приймаючи $V_{ПОЛН} = 75 \text{м}^3$

Щоденно на участку монтажу розходується 0.3л спирту; розрахунок виконан найгіршого випадку; увесь вміст потрапляє в приміщення (для 0.3л легкозаймаючоїся рідини площа розливу 0.3м^2);

Масу парів рідини визначимо за формулою

$$m = W \cdot S \cdot T$$

W - інтенсивність випарення, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$;

S - площа випарення, m^2 ;

T - тривалість випарення ($T = 3600 \text{с}$)

Інтенсивність випарення визначимо наступним чином

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H \quad (5.13)$$

η - коефіцієнт, що обирається з [8] в залежності від швидкості та температури повітря над поверхнею рідини ($\eta = 3.5$);

M - молекулярна маса ($M = 46 \text{ г/моль}$);

P_H - тиск пару C_2H_5OH ($P_H = 5.85 \text{ кПа}$);

Зі справочних даних для C_2H_5OH :

$$W = 1.38 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$$

Тоді:

$$m = 1.38 \cdot 10^{-6} \cdot 0.3 \cdot 3600 = 0.15 \text{ кг}, \quad \beta = 2 + \frac{5}{4} - \frac{1}{2} = 2.75,$$

$$C_{CT} = \frac{100}{1 + 4.84 \cdot 2.75} \approx 7.0\%, \quad V_{CB} = 0.8 \cdot 75 = 60 \text{ м}^3,$$

$$\Delta P = [750 - 101] \frac{0.15 \cdot 0.3}{60 \cdot 1.6} \cdot \frac{100}{7} \cdot \frac{1}{3} = 1.4 \text{ кПа}$$

В результаті розрахунку робимо висновок про присвоєння приміщенню категорії В пожежонебезпечне. Оскільки в приміщенні вибухові суміші горючих газів та парів з повітрям не утворюються, а утворюються вони тільки внаслідок аварії або несправності, то приміщення можна віднести до класу В-1б вибухонебезпечних зон.

Основними причинами виникнення пожежі є:

- порушення прийнятих правил пожежної безпеки та небезпечне поводження з вогнем;
- несправність та перевантаження електричних пристроїв (коротке замкнення);
- несправність вентиляційної системи, що викликає само зайняття або вибух пилу;
- халатне та небезпечне поводження з вогнем;
- самозайняття хлопчатопаперової тканини пропитаної маслом, бензином або спиртом;
- статична електрика, що утворюється від тертя пилу або газів в вентиляційник установках;
- грозові розряди при відсутності або несправності молнієвідводів.

В приміщеннях, де відбувається монтаж печатних плат передбачаємо електричну пожежну сигналізацію (п'ять сповісників типу ПОСТ-1), яка служить для швидкого сповіщення служби пожежогасіння про виникнення пожежі.

Кількість розташованих вогнегасників в робочому приміщенні відповідає вимогам ISO 3941-77.

В робочому приміщенні виконані всі вимоги пожежної безпеки у відповідності до вимог НАПБ А.01.001-95 «Правил пожежної безпеки в Україні».

Вхід в приміщення, проходи між столами та коридори не дозволяється перекривати різними речами та обладнанням. Для зберігання всіх речовин та матеріалів передбачені спеціальні шкафи та ємкості.

З робочими та обслуговуючим персоналом передбачаємо проведення протипожежного інструктажу, занять та бесід.

5.3 Інструкція з охорони праці для персоналу, робочі місця якого обладнані персональними комп'ютерами

Враховуючи те, що розроблена в роботі інструкція користувача авіаційного симулятора буде реалізовуватись на навчальних місцях, обладнаних персональними комп'ютерами (ПК), розробимо в цьому розділі інструкцію з охорони праці для персоналу, робочі місця якого обладнані ПК.

Порядок огляду та ввімкнення

1. Перед початком роботи на ПК працівник-оператор (далі оператор) має впевнитись в працездатному стані обладнання свого робочого місця. Провести огляд апаратури на рахунок зовнішньої цілісності корпусу, правильності підключення роз'ємів, цілісності апаратних з'єднань ПК проводити після отримання завдання на виконання робіт на ПК з дозволу відповідального інженера кафедри або відповідного підрозділу навчального закладу. Порядок подачі живлення до окремого обладнання робочого місця має відповідати встановленому порядку та черговості, що залежать від комплектації робочого місця оператора ПК (в контексті даної роботи – навчального місця авіаційного симулятора).

Під час роботи на ПК

1. Під час роботи на ПК дії оператора мають відповідати встановленому порядку та в разі виконання декількох операцій, має бути дотримана встановлена для них почерговість.
2. Ні в якому разі не допускаються дії, що можуть призвести до виникнення аварійної ситуації, яка загрожуватиме здоров'ю працівників обчислювального центру або функціональній справності його обладнання.
3. Операторам не дозволяється залишати робочі місця з ввімкненою апаратурою без нагляду, якщо не передбачені засоби дистанційного контролю та сигналізації.

Вимкнення та огляд

1. Після завершення робіт на ПК, оператор вимикає обладнання робочого місця в послідовності, зворотній ввімкненню. Під час вимкнення апаратури необхідно слідкувати за індикаторами, встановленими на блоках живлення.
2. Після вимкнення необхідно провести зовнішній огляд обладнання робочого місця на рахунок зовнішньої цілісності корпусу, правильності підключення роз'ємів, цілісності апаратних з'єднань.

Дії під час виникнення аварійної ситуації

1. В разі виникнення аварійної ситуації оператор ЕПК має чітко виконувати всі можливі дії задля попередження виникнення тяжких наслідків.
2. Попередивши працівників обчислювального центру та відповідального інженера про виникнення аварійної ситуації необхідно залишити небезпечну зону. Після чого необхідно вимкнути електричне обладнання найближчим вимикачем або шляхом вивертання запобіжників. Викликати працівників відповідної аварійної служби.
3. При появі працівників аварійної служби негайно доповісти ситуацію та надалі виконувати їхні інструкції.

ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В першому розділі дипломної роботи виконано аналітичний огляд фізичного явища зміни характеристики радіохвилі, а саме її частоти в умовах взаємного руху передавача та приймача.

Ключовими моментами є те, що визначальним фактором є взаємний рух обох об'єктів – передавача та приймача один відносно другого.

На сьогоднішній день застосування ефекту Доплера відбувається в інформаційних системах одержання даних як про об'єкти і процеси, відстань до яких є дуже значною (як приклад – астрофізичні дослідження), так і в медичних пристроях діагностики та лікування.

В радіонавігаційних та радіолокаційних системах, які використовуються в авіації ефект доплера використовується в активних радіолокаторах для визначення швидкостей цілі, бортових локаторах для визначення швидкості літаків відносно земної поверхні, а також наземному радіотехнічному обладнанні – маяках DVOR для визначення просторового положення літаків в зоні дії цих маяків.

В другому розділі виконано огляд принципу роботи системи TRANSIT, яка була першою реалізацією супутникової навігаційної системи, в якій радіонавігаційним параметром виступав доплерівський зсув частоти відносно відомого значення. Приведені принцип роботи та переваги і недоліки цього типу визначень.

Еволюція розвитку науки та техніки другої половини ХХ ст зробила можливим реалізацію наступних поколінь супутникових навігаційних систем, в яких було реалізовано дальномірний метод (трилатерацію). Радіонавігаційним параметром при цьому є псевдодальність до навігаційного супутника.

В третьому розділі для досягнення поставленої в дипломній роботі мети було писано методику одержання експериментальних даних від системи GPS. В цих даних (повідомлення RANGE) містились результати вимірювання навігаційною станцією кодової та фазової псевдовідстані до всіх видимих супутників GPS,

значення доплерівського зсуву частоти внаслідок їх руху відносно точки спостереження, а також важливий параметр сигнал/шум.

Записаний файл експериментальних даних було декодовано програмним продуктом, створеним в середовищі MatLab з візуалізацією одержаних результатів: графіків зміни псевдовідстаней, доплерівської частоти, відношення сигнал шум. Цей масив графічних результатів дозволяє оцінити характер та величину зміни основних радіонавігаційних параметрів, які задіяні у визначенні координат користувача в сучасних супутникових навігаційних системах.

В наступних розділах дипломної роботи здійснено прорахунок економічної ефективності створення програмного комплексу обробки навігаційних даних, аналогічного тому який використовувався в роботі, а також здійснено освітлення питань безпеки життєдіяльності та охорони праці при використанні персональної комп'ютерної техніки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Aguado, C., & Ruiz, S. (2013). Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Retrieved July 16th, 2014, from: <http://ddd.uab.cat/record/112511>
2. Airasian, J. (2001). Classroom assessment. Concepts and applicatons. Boston: McGraw Hill.
3. Aldrich, C. (2005). Learning by Doing. A Comprehensive Guide to Simulatons, Computer Games, and Pedagogy in e-Learning and Other Educatonal Experiences. San Francisco: Pfeifer.
4. Alessi, S.M., & Trollip, S.R. (1991). Computer-based instructon: Methods and development (2nd ed.). Englewood Clifs, NJ: Prentce Hall.
5. Valverde, J. (2010). Aprendizaje de la Historia y Simulación Educatva. Revista Tejuelo: Didáctica de la Lengua y Literatura. Educación, 9(Year III), 83-99. Retrieved July 16th, 2014, from: <http://iesgtballester.juntaextremadura.net/web/profesores/tejuelo/vinculos/articulos/r09/n9completo.pdf>
6. Shannon, R., & Johannes, J.D. (1976). Systems simulaton: the art and science. IEEE Transactons on Systems, Man and Cybernetcs, 9, 723-724. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1976.4309432>
7. Martnez, J. (2003). Algunas falacias sobre el aprendizaje. Página Digital. Retrieved July 16th, 2014, from: <http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2003/2003sept/notcias6/26530-9.asp>
8. Bonsón, M. (2009). Desarrollo de competencias en Educación Superior. In Blanco, A (Coord.), Desarrollo y Evaluación de Competencias en Educación Superior (pp. 17-34). Madrid: Narcea.
9. Lasnier, F. (2000). Réussir la formaton par competence. Montreal: Guérin.
10. Biggs, J. (2005). Calidad del aprendizaje universitario. Madrid: Narcea
11. Tardif, J. (2006). L'Evaluaton de compétences. Documenter le parcours de développement. Montréal: Chenelière Éducaton.

12. Biggs, J., & Moore, P. The process of learning. Sydney: Prentice Hall, 1999.
13. Ruiz, S., Aguado, C., & Moreno, R. (2014). Educational Simulation in practice: A teaching experience using a flight simulator. Journal of Technology and Science Education (JOTSE), 4(3), 181-200. <http://dx.doi.org/10.3926/jotse>.
14. EASA Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices. European Aviation Safety Agency. Retrieved July 16th, 2014, from: [http://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/rulemaking-docs-npa-2008-NPA2008-22e---CS-FSTD\(H\).pdf](http://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/rulemaking-docs-npa-2008-NPA2008-22e---CS-FSTD(H).pdf)
15. Sánchez, J. Especial Simulación Aeronáutica 2012. Avión Revue Internacional, pp. 41-63.
16. Yániz, C., & Villardón, L. (2006). Planificar desde competencias para promover el aprendizaje. Bilbao: Universidad de Deusto.
17. McDonald, R., Boud, D., Francis, J., & Ginczi, A. (2000). Nuevas perspectivas sobre la evaluación. Boletín Cinterfor, 149, 41-72.
18. De Miguel, M. (2005). Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. Oviedo: Universidad de Oviedo.
19. Herrington, J., & Herrington, A. (1998). Authentic Assessment and Multimedia: how university students respond to a model of authentic assessment. Higher Education Research & Development, 17(3), 305-322. <http://dx.doi.org/10.1080/0729436980170304>
20. Newbold, P. (2001). Statistics for Business and Economics (6th Edition). Madrid: Prentice Hall.
21. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. – К. : НАУ, 2013. –
22. [Електронний ресурс]. – Доступ: <https://www.christian-doppler.net/ru/thema/%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F/>
23. [Електронний ресурс]. – Доступ: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Transit>
24. [Електронний ресурс]. – Доступ: <https://ukrayinska.libretxts.org/%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B8/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%>

[D0%BC%D1%96%D1%8F_%D1%82%D0%B0_%D0%BA%D0%BE%D1%81%
D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F/%D0%9A%D
0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%3A_%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%
D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D1%8F_\(OpenStax\)/05%3A_%
D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1
%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%82%D0%B0_%D1
%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8/5.06%3A_%D0%
95%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%B
B%D0%B5%D1%80%D0%B0](#)