

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ

Методичні вказівки та завдання
до виконання лабораторних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

Київ 2025

УДК 504
Г52

Укладачі: Ю. В. Медведський, канд. техн. наук, доцент,
Р. А. Дем'яненко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент О. П. Ісаєв, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Р. А. Дем'яненко, канд. техн. наук,
доцент

*Затверджено на засіданні кафедри інженерної геодезії,
протокол № 7 від 14 березня 2024 року.*

В авторській редакції.

Глобальні навігаційні супутникові системи [Електронний
Г52 ресурс]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / уклад.:
Ю. В. Медведський, Р.А. Дем'яненко – Київ : КНУБА, 2025. – 49 с.

Містять зміст, порядок оформлення, приклади вирішення
лабораторних робіт з дисципліни та вихідні дані.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій».

© КНУБА, 2025

Зміст

Загальні положення	4
<i>Лабораторне заняття 1. Перетворення координат точки в різних системах координат.....</i>	<i>5</i>
<i>Лабораторне заняття 2. Вивчення структури GNSS сигналу та файлу спостережень у форматі RINEX</i>	<i>9</i>
<i>Лабораторне заняття 3. Опрацювання абсолютних спостережень. Standard Point Positioning та Precise Point Positioning</i>	<i>15</i>
<i>Лабораторне заняття 4. Польові роботи по побудові геодезичної мережі методом Static та Kinematic ГНСС системою Leica System 1200.....</i>	<i>18</i>
<i>Лабораторне заняття 5. Обробка ГНСС спостережень мережі ДГМ, виконаної статичним методом</i>	<i>22</i>
<i>Лабораторне заняття 6. Польові спостереження геодезичних мереж променевим методом ГНСС системою Leica System 1200</i>	<i>31</i>
<i>Лабораторне заняття 7. Опрацювання ГНСС спостереження геодезичних мереж променевим методом</i>	<i>33</i>
<i>Лабораторне заняття 8. Опрацювання ГНСС спостережень за допомогою сервісу OPUS</i>	<i>34</i>
<i>Лабораторне заняття 9. Польові роботи з топографічного знімання методом RTK ГНСС системою Leica System 1200</i>	<i>37</i>
<i>Лабораторне заняття 10. Проєктування GPS мережі відповідно до ГМЗ-3.</i>	<i>38</i>
Список літератури	48

Загальні положення

Методичні вказівки охоплюють виконання лабораторних завдань з дисципліни "Глобальні навігаційні супутникові системи". Загалом, у матеріалі представлено 10 завдань, що передбачають виконання робіт із спеціалізованим обладнанням спостережень супутникових сигналів, обробку результатів спостережень з метою отримання достовірних значень координат точок на земній поверхні.

Метою лабораторних робіт є закріплення і практичне опрацювання лекційного матеріалу, ознайомлення зі спеціалізованим програмним забезпеченням для обробки результатів спостережень за допомогою ГНСС обладнання, створення фундаменту знань для розуміння студентами основних принципів використання сучасної супутникової радіонавігаційної апаратури для вирішення задач по визначення місцеположень точок на поверхні Землі та навколоземному просторі.

Виконання лабораторних робіт 4, 6 і 9 виконується в складі бригади, інші роботи виконуються індивідуально кожним здобувачем.

Результати виконання практичних робіт подаються у вигляді одного файлу word або архіву з файлами до кожної лабораторної роботи. Файл або архів повинні містити в назві прізвище студента латиницею та номер лабораторної роботи, наприклад Petrov_lab1 _.docx

Лабораторне заняття 1. Перетворення координат точки в різних системах координат

Мета: Вивчити основні системи координат, що використовуються в супутниковій геодезії, та навчитися перетворювати координати точки з геодезичної в прямокутну референцну систему координат і навпаки.

Теоретичний матеріал

Положення точок на фізичній поверхні Землі щодо референц-еліпсоїда задаються просторовими геодезичними координатами B , L , H .

Для довільної точки M на фізичній поверхні Землі геодезична широта B - кут між площиною екватора і нормаллю до еліпсоїда в точці M ; геодезична довгота L - двогранний кут між площинами початкового геодезичного (грінвіцького) меридіана і геодезичного меридіана точки M . Геодезична висота H точки M над еліпсоїдом відраховується вздовж нормалі від поверхні еліпсоїда до фізичної поверхні Землі (рис. 1).

Початок референцної прямокутної системи координат O_r , суміщений з центром прийнятого референц-еліпсоїда. Вісь $O_r X_r$ збігається або паралельна до середньої осі обертання Землі в напрямку північного полюса; вісь $O_r Z_r$ лежить в площині екватора і спрямована в точку перетину екватора з грінвіцьким меридіаном; вісь $O_r Y_r$ доповнює систему до правої прямокутної.

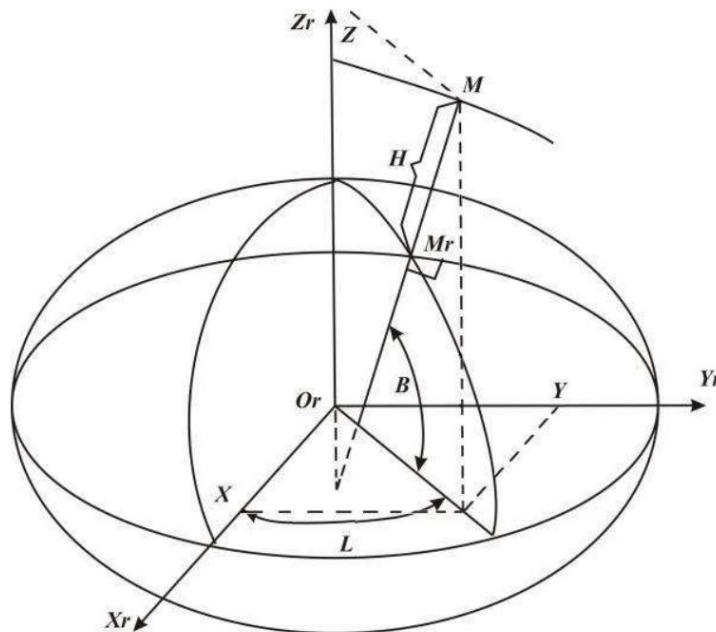


Рис. 1. Зв'язок геодезичної та прямокутної референцної системи координат

Спостереження ШС виконують з поверхні Землі. У топоцентричних системах початок координат збігається з точкою фізичної поверхні Землі, якою є пункт спостереження ШСЗ, а осі паралельні до відповідних осей для заданої геоцентричної системи (зоряної або грінвіцької).

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Завдання 1. Перетворити геодезичні координати довільної точки, що обчислюється за варіантом.

Геодезичні координати обчислюються за формулами згідно варіанта:

$$L = 27^{\circ}33'35'' + n * 1'30'' = 27^{\circ}53'5''$$

$$B = 51^{\circ}12'26'' - n * 1'30'' = 50^{\circ}53'56''$$

$$H = 2000\text{м} + 10\text{м} * n = 2130$$

де n - номер варіанту.

Робочі формули:

$$\begin{aligned} X_r &= (N + H) \cos B \cos L; \\ Y_r &= (N + H) \cos B \sin L; \\ Z_r &= (N(1 - e^2) + H) \sin B; \end{aligned} \quad (1)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} = \frac{a}{W}, \quad (2)$$

де N - радіус кривини першого вертикала, W - функція геодезичної широти. Обчислення можна проконтролювати, використовуючи формулу:

$$\sqrt{X_r^2 + Y_r^2 + Z_r^2 (1 + e'^2)} = a + \frac{H}{W} \quad (3)$$

Обидві частини рівнянь мають збігатись з точністю до цілих.

Для референц-еліпсоїда Красовського:

$$a = 6378245\text{м}; e = 0,006738525; e' = 0,006693422.$$

Завдання 2. Перетворити прямокутні референсні координати довільної точки в геодезичні.

Робочі формули

Геодезична довгота знаходиться за формулою:

$$\text{tg} L = \frac{Y_r}{X_r}; \quad (4)$$

Проекція геодезичної нормалі на площину екватора обчислюється за формулою:

$$D = X_r \sec L = Y_r \cos ec L. \quad (5)$$

Геодезичну широту знаходять за допомогою послідовних наближень. Початкове наближення знаходять за формулою:

$$\operatorname{tg} B_0 = \frac{Z_r (1 + e'^2)}{D}; \quad (6)$$

а кожна наступне - за попереднім:

$$\operatorname{tg} B' = \frac{Z_r + Ne^2 \sin B_0}{D}; \quad (7)$$

Наближення виконують з точністю до 1". Для останнього значення широти В обчислюють також значення N (формула 3) і, використовуючи це значення, обчислюють геодезичну висоту:

$$H = \frac{D}{\cos B'} - N = \frac{Z_r}{\sin B'} - N(1 - e^2). \quad (8)$$

Після знаходження висоти Н за двома формулами знаходиться її середнє значення.

Завдання 3. Перетворити координати просторової референцної системи координат в прямокутні геоцентричні (рис.2).

Вихідні дані:

1. Лінійні параметри зміщення початку систем координат:

$$\delta_x = 11 \text{ м} * n$$

$$\delta_y = -5 \text{ м} * n$$

$$\delta_z = 2 \text{ м} * n$$

Кутові параметри повороту осей систем координат:

$$\omega = -0,2'' * n$$

$$\Psi = 0,5'' * n$$

$$\nu = 0,3'' * n$$

При виконанні обчислень значення кутових параметрів необхідно перевести в одиниці системи СІ (радіан). В роботі приймаємо масштабний коефіцієнт $m = 0$.

Робочі формули

$$(XYZ)_p \rightarrow (XYZ)_e$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_r = (1 + m) \begin{pmatrix} 1 & \Psi & -\omega \\ -\Psi & 1 & \nu \\ \omega & -\nu & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_p + \begin{pmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{pmatrix}_r \quad (9)$$

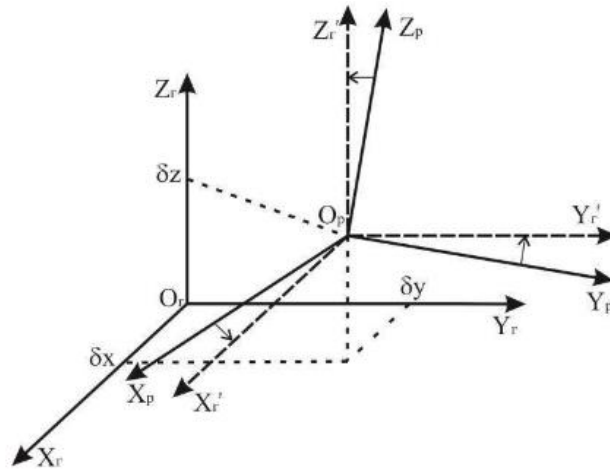


Рис. 2. Зв'язок прямокутної референцної та геоцентричної системи координат

На рис. 2: $O_g X_g Y_g Z_g$ - прямокутна геоцентрична система координат; $O_p X_p Y_p Z_p$ - прямокутна референцна система координат; $\delta_x \delta_y \delta_z$ - лінійні параметри зміщення початку систем координат; $O_p X_g' Y_g' Z_g'$ - зміщення осей ре-ференцної системи внаслідок врахування кутових параметрів повороту осей систем координат.

Лабораторне заняття 2. Вивчення структури GNSS сигналу та файлу спостережень у форматі RINEX

Мета: Вивчити структуру та навчитися працювати з файлами GPS-спостережень у форматі RINEX.

Теоретичний матеріал.

Дані вимірювань, а також навігаційне повідомлення та додаткова інформація, отримані із сигналом з супутника GPS, зберігаються в бінарному (залежно від типу приймача) форматі. Хоча бінарні дані приймача можна під час пересилання перевести у незалежний від типу комп'ютера формат ASCII, вони все ще залежатимуть від типу приймача. Крім того, кожний програмний продукт при обробці GPS-спостережень має свій власний формат. Це потребує перетворення певних даних до незалежного від програми формату, якщо ці дані обробляються за допомогою програм іншого типу.

На підставі вищесказаного можна зробити висновок, що обміну GPS-даних сприяв би формат, незалежний від типу приймача. Це досягнуто за допомогою формату обміну RINEX (Receiver Independent Exchange Format). Перша версія цього формату була розроблена Астрономічним Інститутом Бернського Університету для простого обміну GPS-даними, які повинні були збиратися під час EURF 89 — великої Європейської кампанії по збору GPS-даних, яка включала більше ніж 60 GPS-приймачів чотирьох різних виробників. При розробці враховувалось, що переважна більшість програмного забезпечення для опрацювання GPS-даних використовує чіткий набір спостережень:

- фазові вимірювання на одній або двох несучих частотах.
- виміряні псевдовіддалі, які відповідають різниці часу прийому (вираженому в часовому інтервалі спостерігача) і часу передачі (вираженому в часовому інтервалі супутника) супутникового сигналу.
- час спостереження, який береться з годинника приймача для файлових та/або кодових вимірів.

Отже, таким програмним продуктам не потрібна більшість інформації, яка, звичайно, зберігається приймачем. Їм потрібні фазові та кодові вимірювання, момент часу, до якого відносяться ці вимірювання, та деяка інформація, пов'язана безпосередньо зі станцією, така як назва станції, висота антени тощо.

Формат версії 3.0, згідно офіційного опису складеться з таких типів ASCII-файлів:

1. Файл даних спостережень (*.o-файли).
2. Файл навігаційного повідомлення (*.n-файли).

3. Файл метеорологічних даних (*.m-файли).
4. Файл навігаційного повідомлення ГЛОНАСС.
5. Файл навігаційного повідомлення GEO.

Формат було оптимізовано для мінімального використання пам'яті, незалежно від кількості типів спостережень, які проводить приймач, вказуючи в заголовку типи спостережень, які зберігаються. В комп'ютерних системах, які допускають опрацювання записів змінної довжини, записи спостережень можна ще більше скоротити.

Кожний файл даних спостережень і кожний файл метеорологічних даних в основному містить інформацію по одному пункту і за один сеанс. Друга версія RINEX дозволяє включати дані спостережень з більш ніж однієї точки, які займав приймач при швидких статичних або кінематичних вимірюваннях. Файл навігаційного повідомлення не залежить від пункту.

На сьогодні RINEX є найбільш вдалим форматом. Як наслідок, деякі виробники приймачів розробляють програми для перетворення залежних від їх приймача форматів на RINEX. Координатором цих зусиль виступає Національна геодезична служба (NSG).

Рекомендовано формувати назви файлів за наступною схемою, яку фактично прийнято за стандартну: ssssdddf.yyyt , де:

sss: 4-символи назви станції;

ddd: день за GPS-календарем початку спостереження;

f: номер окремого спостереження в цей день (якщо приймач вмикався і вимикався);

yy: рік;

t: тип файлу;

Так, наприклад, файл „RVNE318A.11o” містить результати вимірювань до супутників, які виконувалися на перманентній станції RVNE в 318 день 2011 року, а файл „RVNE318A.11n” буде містити дані про Кеплерові параметри орбіт всіх супутників системи GPS на протязі цього ж дня.

Файли формату RINEX можуть бути легко відкриті, і навіть редаговані в будь-якому текстовому редакторі. Кожний тип файлів складається із заголовку і секції даних. Заголовок містить інформацію про умови отримання даних і розміщується на початку файлу. Заголовок в стовпцях 61-80 містить короткі примітки для кожної лінії заголовку. Ці примітки є обов'язковими.

В табл. 1 та 2 наведено структуру даних **файлу спостережень**. Цей файл містить дані спостережень за супутниками, зібрані приймачем GNSS. Він складається із заголовка та основного тексту.

Таблиця 1

Структура RINEX-файлу (загальна)

Секція	Опис
Заголовок (Header)	Містить метадані про файл, такі як версія RINEX, тип файлу, інформацію про приймач, антени, місцезнаходження станції, дату й час спостереження.
Основний текст	Залежить від типу файлу. Містить дані про спостереження, орбіти супутників, часові параметри тощо

Таблиця 2

Деталізація файлу даних спостережень RINEX

Розділ/Параметр	Опис	Приклад
Заголовок (Header)		
Версія формату	Версія формату RINEX (наприклад, 2.11, 3.03)	3.03
Тип файлу	Визначає тип даних (напр., O – спостереження, N – навігація)	OBSERVATION DATA
Система	Вказує GNSS-систему, наприклад, G – GPS, R – ГЛОНАСС, E – Galileo	G (GPS)
Назва станції	Ідентифікатор приймача або станції.	STATION NAME
Координати станції	XYZ-координати станції у системі WGS84	1234567.89 9876543.21 4567890.12
Антенна та приймач	Тип антени і приймача, які використовуються для запису даних	TRIMBLE NETR9
Часовий інтервал	Інтервал між вимірюваннями у секундах	30 (секунд)
Основні дані (Observation)		
Епоха	Мітка часу спостереження (дата, час)	2025 01 28 12 00 00
Супутники	Список супутників, для яких записані дані	G01 G02 G03
Псевдовідстань (C1C)	Виміряна псевдовідстань до супутника	12345678.901
Доплерівський зсув (D1C)	Доплерівський зсув сигналу	-987.654
Фазовий зсув (L1C)	Накопичення фазового зсуву сигналу	123456.789
Інтенсивність сигналу (S1C)	Інтенсивність або якість сигналу (у відносних одиницях)	48.5

Файл спостережень в основній частині починається з рядка > з часовою позначкою (епоха). Наступні рядки містять дані для кожного супутника:

- G01, G02 – ідентифікатори супутників.
- Значення: псевдовідстань (C1C), фазовий зсув (L1C), інтенсивність сигналу (S1C), доплерівський зсув (D1C).

На рис.3 представлено фрагмент реального файлу RINEX версії 3.03 з даними спостережень.

```

3.03      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
TEQC 20250128 Trimble NETR9      20250128 00:00:00 PGM / RUN BY / DATE
STATION NAME      STATION LOCATION      COUNTRY      MARKER NAME
12345      MARKER NUMBER      ANT12345 TYPE      MARKER NUMBER / TYPE
TRIMBLE NETR9      1234567890123      2.10      REC # / TYPE / VERS
TRM55971.00      NONE      ANT12345      ANT # / TYPE
1234567.890      9876543.210      4567890.123      APPROX POSITION XYZ
0.0000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
30.000      INTERVAL
2025 01 28 12 00 00.0000000 GPS      TIME OF FIRST OBS
15      # OF SATELLITES
G01 G02 G03 G04 G05 G06 G07 G08 G09 G10      SATELLITES LIST
END OF HEADER

> 2025 01 28 12 00 00.0000000 0 15
G01 21234567.890 1234567.890 48.5 -987.654 123456.789
G02 21234567.891 1234567.891 48.6 -987.655 123456.790
G03 21234567.892 1234567.892 48.7 -987.656 123456.791
G04 21234567.893 1234567.893 48.8 -987.657 123456.792
G05 21234567.894 1234567.894 48.9 -987.658 123456.793
> 2025 01 28 12 00 30.0000000 0 15
G01 21234568.890 1234568.890 48.9 -987.659 123457.789
G02 21234568.891 1234568.891 48.8 -987.660 123457.790
G03 21234568.892 1234568.892 48.7 -987.661 123457.791

```

Рис. 3. Приклад файлу спостережень RINEX версії 3.03

Навігаційний файл, розширення .n, містить параметри ефемерид супутників, які використовуються для обчислення їх орбіт та часу (табл.3).

Деталізація навігаційного файлу RINEX

Розділ/Параметр	Опис	Приклад
Заголовок (Header)		
Версія формату	Версія формату RINEX, наприклад, 2.11 або 3.03.	3.03
Тип файлу	Тип файлу (N – навігаційний).	NAVIGATION DATA
GNSS-система	Система, наприклад, GPS, ГЛОНАСС, Galileo.	G (GPS)
Ідентифікатор програми	Програма або інструмент, що створив файл.	TEQC
Дата	Дата створення файлу.	2025-01-28
Інші параметри	Можуть включати інформацію про часову систему, параметри обробки тощо.	END OF HEADER
Основні дані (Satellite Data)		
PRN	Ідентифікатор супутника (наприклад, G01 для GPS).	G01
Епоха	Час, до якого прив'язані дані (рік, місяць, день, година, хвилина, секунда).	2025 01 28 12 00 00
Орбітальні параметри:		
SV Clock Bias	Зсув годинника супутника.	0.123456789E-04
SV Clock Drift	Зміна зсуву годинника супутника.	0.234567890E-12
SV Clock Drift Rate	Швидкість зміни зсуву годинника.	0.345678901E-19
Орбітальні елементи:		
Семі-велика вісь	Розмір орбіти (у WGS-84).	26559845.1234567
Ексцентриситет	Величина відхилення орбіти від кругової.	0.123456789E-03
Аргумент перицентру	Кут орбіти.	0.987654321E+01
Схилення (RAAN)	Східний вузол орбіти супутника.	0.543210987E+01
Середня аномалія	Положення супутника в орбіті.	0.765432109E+01
Часовий зсув GNSS	Часова поправка для GNSS.	0.234567890E-07

На рис. 4 наведено фрагмент ефемеридного повідомлення (навігаційного файлу) у форматі RINEX.

3.03	NAVIGATION DATA	G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE
TEQC 20250128	Trimble NETR9	20250128 00:00:00	PGM / RUN BY / DATE
END OF HEADER			
G01 2025 01 28 12 00 00	0.123456789E-04	0.234567890E-12	0.345678901E-19
	0.543210987E+02	0.123456789E-03	0.987654321E+01
	0.123456789E-01	0.987654321E+04	0.123456789E+05
	0.987654321E+01	0.123456789E+02	0.543210987E-09
	0.345678901E+05	0.123456789E-07	0.987654321E-09
G02 2025 01 28 12 15 00	0.987654321E-05	0.543210987E-13	0.123456789E-20
	0.234567890E+02	0.987654321E-04	0.765432109E-03
	0.543210987E+02	0.345678901E+03	0.234567890E+03
			0.876543210E-08

Рис. 4. Приклад навігаційного файлу

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Завдання 1. Ознайомитись із обладнанням, технічними характеристиками та принципом роботи перманентної станції RVNE.

Завдання 2. Отримати навігаційний файл та файл спостережень з архіву спостережень <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/2024/> (для доступу потрібна реєстрація), номер папки відповідає номеру варіанту, або на сервісі <https://geodesy.noaa.gov/UFCORS/>, назва станції обирається довільно.

Завдання 3. Описати, вимірювання яких типів проводяться на заданій станції, інтервал запису даних, час початку спостережень та номери супутників, які спостерігалися станом на 04h 00m 00s київського часу.

Завдання 4. З навігаційного файлу виписати Кеплерові параметри орбіти супутника PRN26 станом на 04h 00m 00s та 16h 00m 00s київського часу.

Завдання 5. Зробити висновки про зміну Кеплерових параметрів орбіти супутника за заданий проміжок часу.

Лабораторне заняття 3. Опрацювання абсолютних спостережень. Standard Point Positioning та Precise Point Positioning

Мета: Навчитися опрацьовувати результати абсолютних ГНСС спостережень, виконаних в режимі статики.

Теоретичний матеріал.

Ця лабораторна робота присвячена аналізу та оцінці різних питань, пов'язаних зі стандартним і точним позиціонуванням точки за допомогою даних GNSS. Лабораторні вправи розроблені на основі фактичних вимірювань GNSS і обробки за допомогою програмного засобу ESA/UPC GNSS-Lab Tool suite (gLAB), який є інтерактивним програмним пакетом для обробки та аналізу даних GNSS, в режимах SPP та PPP.

Опрацювання в режимі SPP за допомогою gLAB

Для обробки абсолютних спостережень в режимі SPP за допомогою програми gLAB необхідно (рис.5):

1. Обрати опрацювання даних вимірювань SPP (Templates – SPP);
2. Завантажити файл спостережень на станції (розширення .o) та відповідний навігаційний файл (розширення .n);
3. Запустити обрахунок.

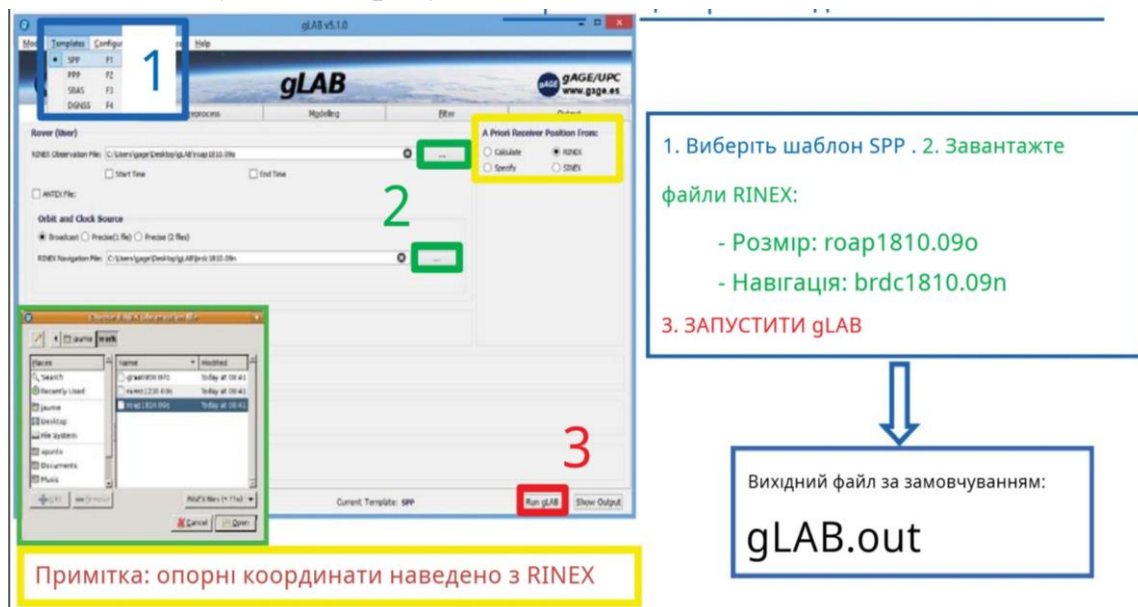


Рис. 5. Обробка абсолютних спостережень в режимі SPP

Після опрацювання результатів програма самостійно не видає результати. Для того, щоб їх отримати потрібно перейти в меню Mode, обрати режим Analysis і у наявному вікні формувати звіти з загальної

помилки позиціонування по трьом координатам (NEU positioning error), лише в плані (Horizontal positioning error) та інші (рис. 6).

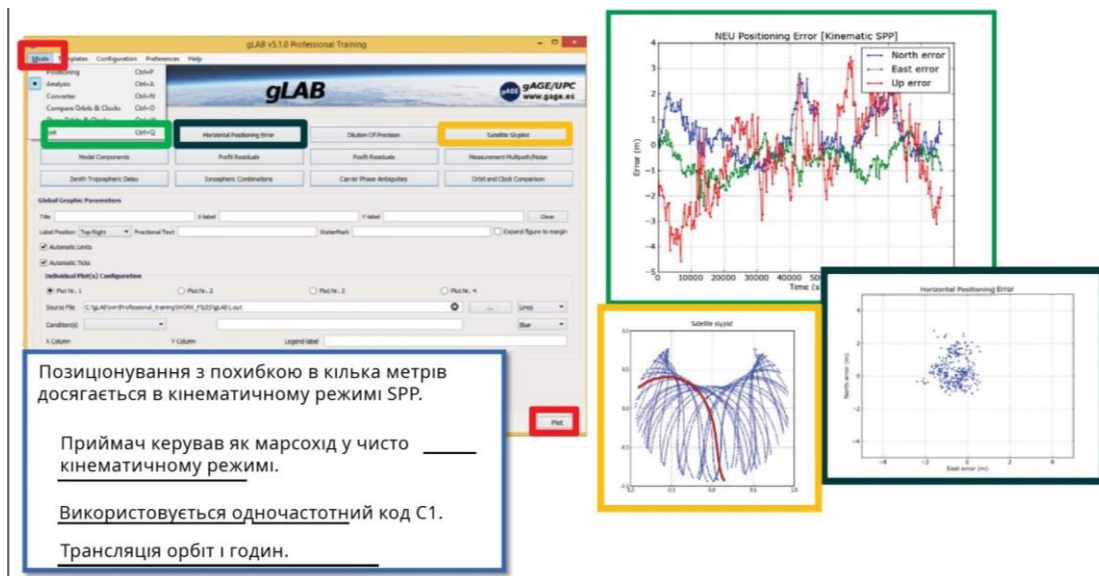


Рис. 6. Аналіз результатів обробки абсолютних спостережень в режимі SPP

Опрацювання в режимі PPP за допомогою gLAB

Для обробки абсолютних спостережень в режимі PPP за допомогою програми gLAB необхідно (рис.7):

1. Обрати опрацювання даних вимірювань PPP (Templates – PPP);
2. Завантажити файл спостережень на станції (розширення .o), файл даних антени (розширення .atx), файл точних орбіт та часу (розширення .sp3), файл імовірної попередньої (апріорної) позиції приймача в форматі SINEX (розширення .snx);
3. Запустити обрахунок.

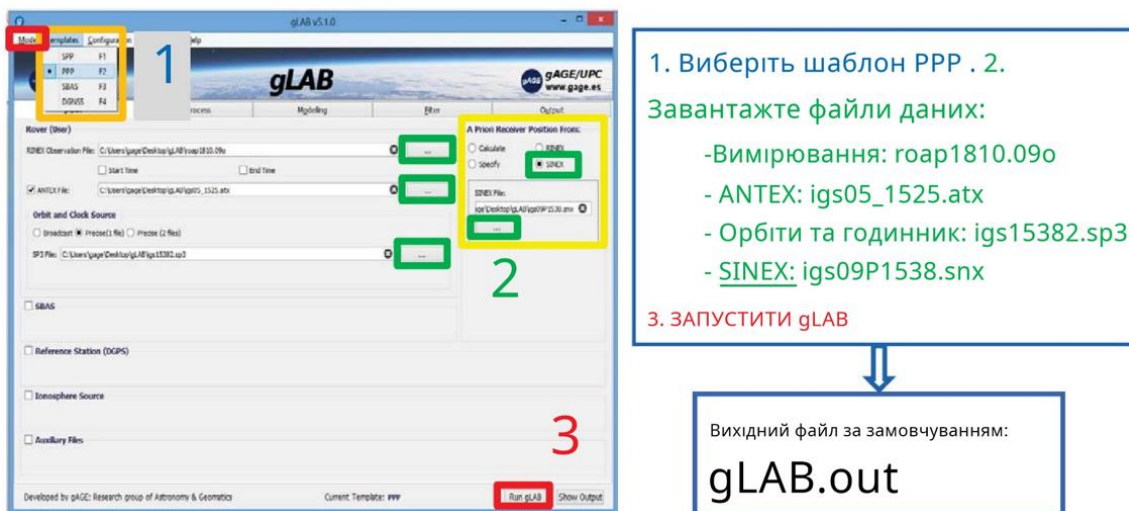


Рис. 7. Обробка абсолютних спостережень в режимі PPP

Для проведення аналізу результатів потрібно перейти в меню Mode, обрати режим Analysis і у наявному вікні формувати (рис. 8).

Координати приймаються як константи в нав. фільтр.

Вимірювання двочастотного коду та несучої.

Точні орбіти та годинник.

Моделювання вимірювань на сантиметр рівень.

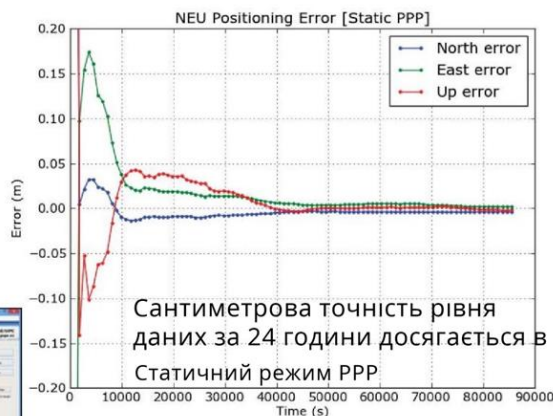


Рис. 8. Аналіз результатів обробки абсолютних спостережень в режимі PPP

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Завдання 1. Проаналізувати результати обробки абсолютних спостережень в режимі SPP. У якості вихідних даних необхідно брати спостереження з архіву спостережень <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/2024/> (для доступу потрібна реєстрація), номер папки відповідає номеру варіанту, або на сервісі <https://geodesy.noaa.gov/UFCORS/>, станція обирається із списку відповідно номеру варіанту (для 20-го варіанту 20 по списку станція).

Посилання на завантаження програми <https://gage.upc.edu/en/learning-materials/software-tools/glab-tool-suite-links/glab-download>

Завдання 2. Проаналізувати результати обробки абсолютних спостережень в режимі PPP. У якості вихідних даних необхідно брати спостереження з теки [data PPP SPP](#), виконувати по прикладу в методичці, додатково можна скористатись відео інструкцією [Processing PPP SPP.mp4](#).

Робота повинна містити:

- результати з файлу gLab.out;
- графіки помилки позиціонування по трьом координатам, зенітної та іоносферної затримки, помилки визначення координати в плані та по висоті;
- вихідні файли.

Лабораторне заняття 4. Польові роботи по побудові геодезичної мережі методом Static та Kinematic ГНСС системою Leica System 1200

Мета: Навчитися виконувати ГНСС вимірювання координат точок в режимі статички та кінематики.

Теоретичний матеріал.

Перед проведенням робіт необхідно ознайомитись з інструкцією користувача на обладнання Leica GNSS 1200 [13].

Спочатку необхідно розглянути питання налаштування даних – це невеликий, але важливий крок у плануванні спостережень. Неефективно проводити добре сплановане спостереження лише для того, щоб дізнатися, що у вас вичерпано місце для зберігання, ви втратили дані або зібрали неправильну довжину зайнятості для необхідної точності. Кожна одиниця має унікальний набір можливостей і обмежень Зверніть увагу на наступне:

- **Довжина файлу** – ви бажаєте, щоб приймач об'єднував дані у файли з фіксованим вікном часу?
- **Частота вибірки** – як часто ви хочете, щоб приймач збирав дані? Базова станція (швидкі статичні та кінематичні дослідження) повинна збирати дані принаймні так само часто, як ровери.
- **Кут відсічки сигналу** – дані, що надходять із супутників на низькій висоті, часто мають шум через атмосферу; нижче якої висоти ви хочете, щоб приймач скидав дані, а не зберігав їх? Зауважте, що ці дані також можна скинути під час обробки. Типове значення становить 5–10°
- **Ємність пам'яті** – у приймачі повинно бути достатньо вільної пам'яті для бажаного опитування. У той час як пам'ять є проблемою для старих приймачів, приймачі останнього покоління мають великий обсяг пам'яті для зберігання даних.

Таблиця 4

Типові параметри для різних способів вимірювання

Спосіб вимірювання	Довжина файлу	Частота вибірки	Час зайнятості	Кут відсічки сигналу
Безперервний	24 год	30 секунд	Безперервний	0-10 градусів
Статичний	2+ год	30 секунд	2+ години	0-10 градусів
Швидка статика	немає	15 секунд	5+ хвилин	0-10 градусів
Кінематичний	немає	1–15 секунд	5+ секунд	0-10 градусів

Аналіз території

Початковий аналіз території є невід’ємною частиною якісного плану дослідження та подальшого успішного збору даних. Передбачення та компенсація хорошого покриття неба, прямої видимості та проблем із багатопроменевістю значно підвищить ваш успіх (рис.9). Найбільшими перешкодами для якісної зйомки є споруди, що стоять над головою або високо стоять, такі як дерева, будівлі та інші об’єкти, які можуть обмежувати огляд неба, перешкоджати сигналам і створювати помилку багатопроменевого сигналу. Стратегії подолання цих перешкод включають розміщення станцій подалі від досліджуваної області в такому положенні, яке найкраще обмежує перешкоди в небі.

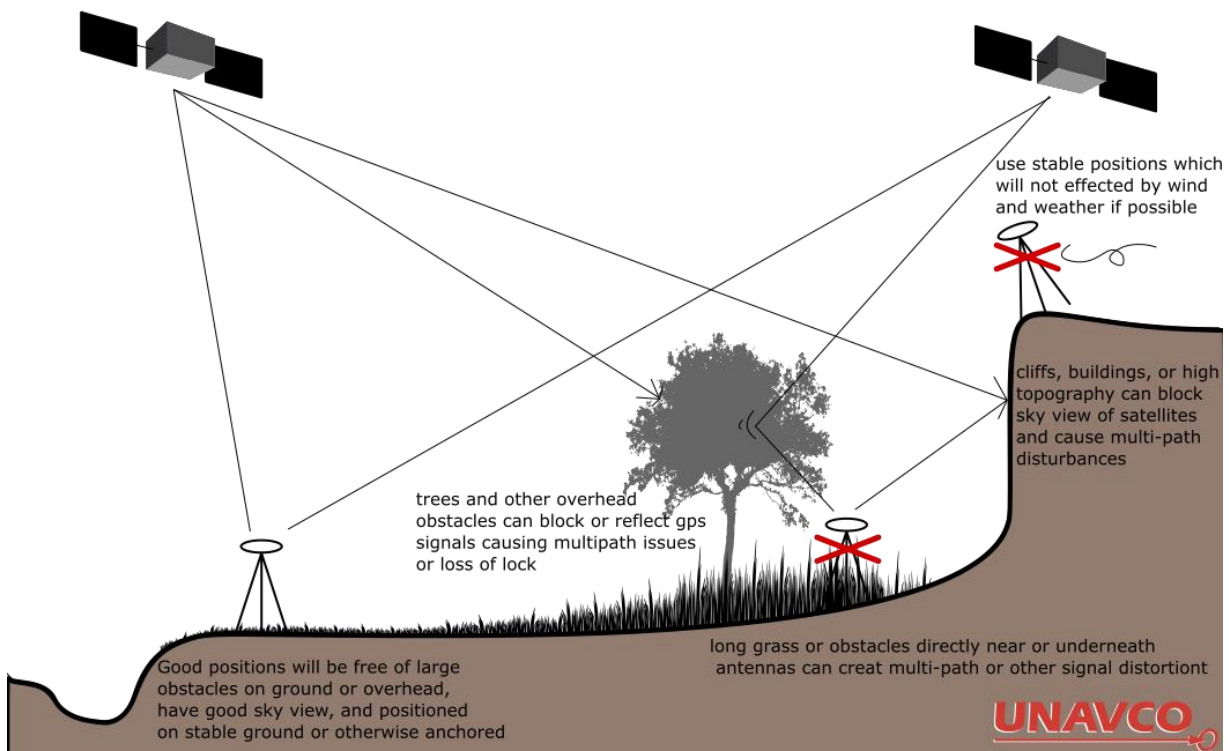


Рис. 9. Схема розташування станції стояння з врахуванням перешкод

Робота на станції:

1. Встановіть в робоче положення (відцентруйте) базовий приймач над однією з відомих точок мережі.
2. Увімкніть приймач і перевірте налаштування режиму Статика (меню Менеджер – налаштування конфігурації).
3. Зайдіть в меню Зйомка, створіть свій проєкт, оберіть тип антени та варіант її розташування (пілон, штатив, віха) в залежності від наявного обладнання. Оберіть систему координат WGS-84.

4. Виміряйте висоту антени, впишіть її та назву точки в інформацію про станцію та розпочніть вимірювання.

5. Повторіть пункти 1-4 для роверного приймача.

6. Для досягнення високої точності залишайте обладнання на кожній точці протягом тривалого часу (мінімум 30 хвилин, а краще довше). Це дозволить зібрати достатню кількість супутникових даних.

Коли ви завершите вимірювання на пункті, продовжуйте нижче.

7. Зупиніть збір даних на приймачі або контролері.

8. Перевірте наявність збереженого файлу з правильною датою, часом і тривалістю вашого спостереження.

9. Перш ніж переміщати що-небудь на базовій станції, перевірте висоту антени та запишіть це у своїй польовій книжці. Воно не повинно було рухатися.

10. Переконайтеся, що штатив все ще знаходиться рівно і в центрі над пунктом. Якщо не запишіть це з будь-якими спостереженнями або вимірюваннями щодо того, як він рухався.

Планування спостережень

До початку вимірювань складіть схему проведення вимірів з вказанням розташування базової та роверної станції в різних сесіях спостережень (табл.5). Схема передбачає попарне вимірювання на станціях з можливою рокіровкою між ровером та базою (рис.10).

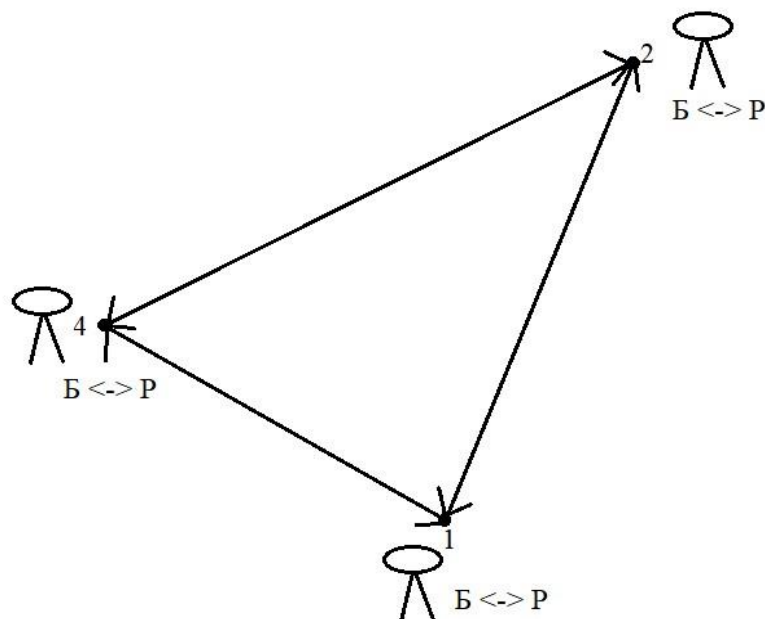


Рис. 10. Схема спостережень трьох пунктів в режимі статики

Схема виконання вимірювань

№	Порядок вимірювань	Точки		
		1	2	4
1	1-2	Б	Р	-
2	2-1	Р	Б	-
3	2-4	-	Б	Р
4	4-2	-	Р	Б
5	4-1	Р	-	Б
6	1-4	Б	-	Р

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Необхідно запланувати та провести вимірювання в режимі статики на трьох пунктах за допомогою двох приймачів Leica GNSS 1200. Результати виконання роботи повинні містити:

- опис виконаних робіт.
- схему спостережень
- схему виконання спостережень
- журнал записів висот на станціях на початку та в кінці спостережень, відміток про помилки та зайві виміри, зміни назв точок чи схеми спостережень

Лабораторне заняття 5. Обробка ГНСС спостережень мережі ДГМ, виконаної статичним методом

Мета: Навчитися обробляти результати ГНСС вимірювання координат точок вимірюваної в режимі статички.

Теоретичний матеріал.

Опрацювання результатів спостережень виконується в програмному засобі Leica Geo Office. Програма LGO (Leica Geo Office) призначена для постобробки і використання даних GPS.

Програма забезпечує виконання наступних функцій:

- Імпорт даних
- Управління даними
- Обробка даних
- Зрівнювання мереж
- Перетворення систем координат
- Експорт даних

Запустивши програму LGO, на екрані з'явиться головне вікно LGO (рис. 11).

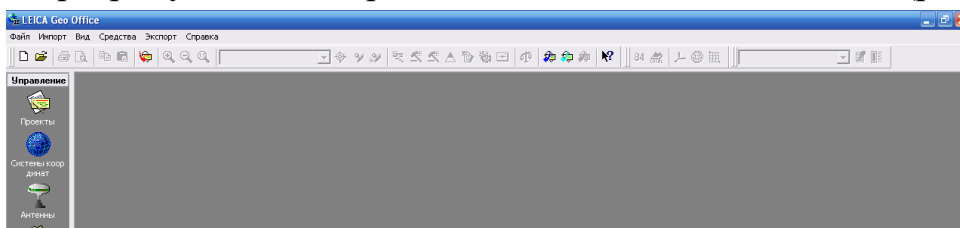


Рис. 11 Головне вікно LGO

В меню **Импорт** або в панелі інструментів оберіть **Импорт файла измерений** або в списку **Средства** оберіть **Импорт измерений**

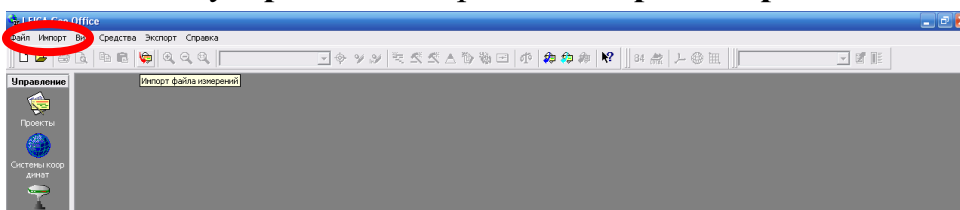


Рис. 12. Імпорт файлу вимірювань

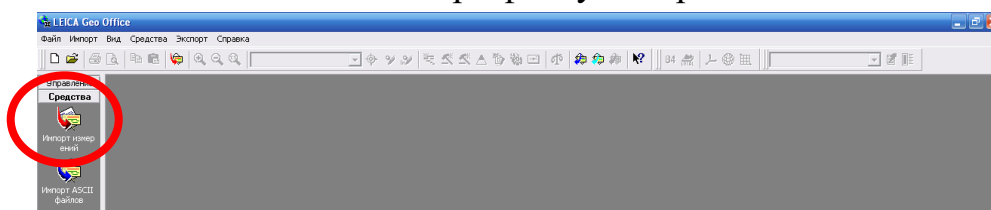


Рис. 13. Імпорт файлу вимірювань

Після чого в діалоговому вікні, яке з'явиться необхідно вказати шлях до файла вимірювань:

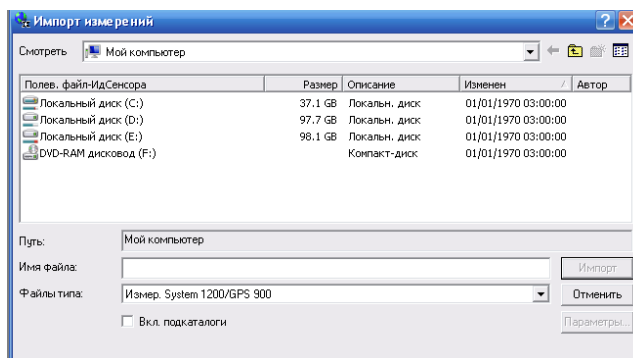


Рис. 14. Імпорт файлу вимірювань з вказанням шляху

Після вибору файлу спостережень з'явиться наступне діалогове вікно, де є можливість додати дані у вже існуючий проєкт або створити новий.

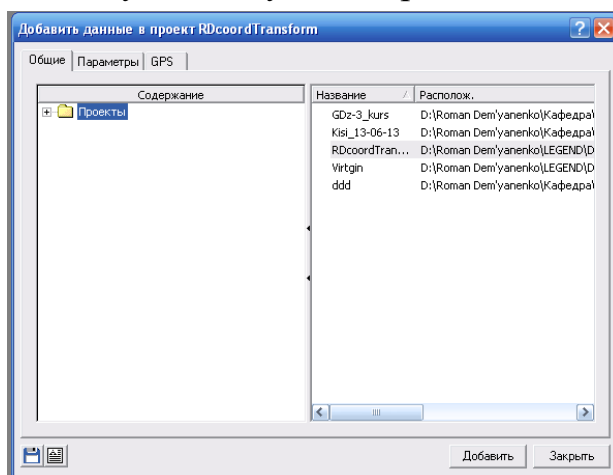


Рис. 15. Додавання даних до існуючого проєкту

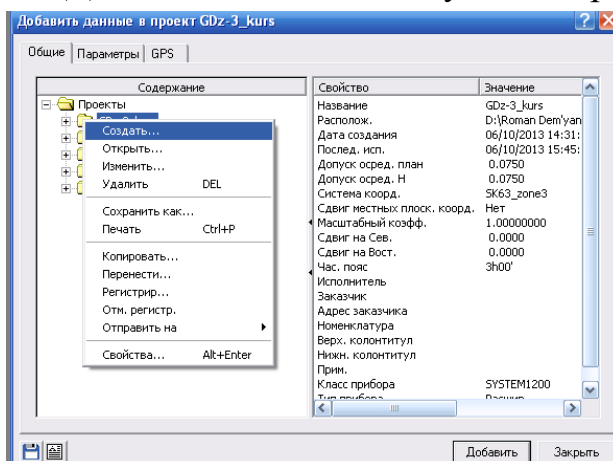


Рис. 16. Створення нового проєкту та додавання даних до нього

При створенні нового проєкту з'явиться діалогове вікно з можливістю опису властивостей проєкту.

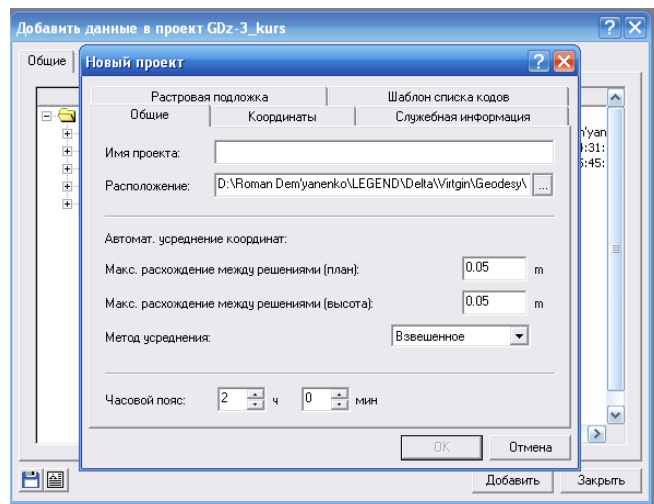


Рис. 17. Властивості проєкту

Можна також створювати проєкт, використовуючи команди **Новий проєкт** з меню **Файл** або панелі інструментів.

Діалогове вікно **Новий проєкт** має набір властивостей які необхідно вказати:

- Общие
- Координаты
- Служебная информация
- Растровая подложка
- Шаблон списка кодов

Одним з найважливіших елементів діалогового вікна є вкладка **Координаты** де необхідно обрати бажану систему координат для проєкта.

Після створення проєкту та додавання даних вимірювань в цей проєкт з'явиться наступне діалогове вікно проєкту. В цьому вікні є можливість ознайомитись із змістом проєкту, використовуючи різні закладки. Для переміщення між робочими вікнами клікніть по відповідних закладках у нижній частині вікна.

- Просм/Редакт
- GPS-обrab.
- TPS-обrab.
- Нивелирование
- Уравнивание
- Точки
- Антенны
- Результаты
- Списки кодов

Вкладка **Просм/Редакт** дозволяє графічно представити кожну точку проєкту. Умовні знаки точок вказують на те, що клас точок поки що **Навигационная**, тобто точність визначення їх координат низька (± 100 м).

Використання супутникових методів визначення координат точок в геодезії передбачає виконання вимірювань у відносному режимі вимірювань. Тобто для визначення координат невідомих точок необхідно мати не менше двох приймачів, які працюють синхронно, один з яких встановлюється на точку з відомими координатами, а інші на точки координати яких необхідно визначити. Таким чином визначення координат невідомих точок виконується відносно опорного пункту.

Після імпорту даних вимірювань в проєкт у вкладці **Просм/Редакт** окрім графічного представлення точок необхідно зробити редагування властивостей точки, тобто змінити її клас на **Опорные** з зазначенням у відповідних рядках точних значень координат (координати з каталогу) у системі координат, яка була задана у властивостях Проєкту. При цьому у вкладці **Тип координат** и **Формат координат** необхідно вибрати відповідний тип представлення координат (Геодезичні, просторові прямокутні чи плоскі прямокутні у відповідній картографічній проєкції).

Після чого умовне позначення точки у графічному представленні зміниться на **▲** та означатиме клас **Опорные**.

Після проведених операцій по редагуванню точок необхідно перейти на вкладку **GPS-обrab.** для вибору базових ліній та обробки спостережень.

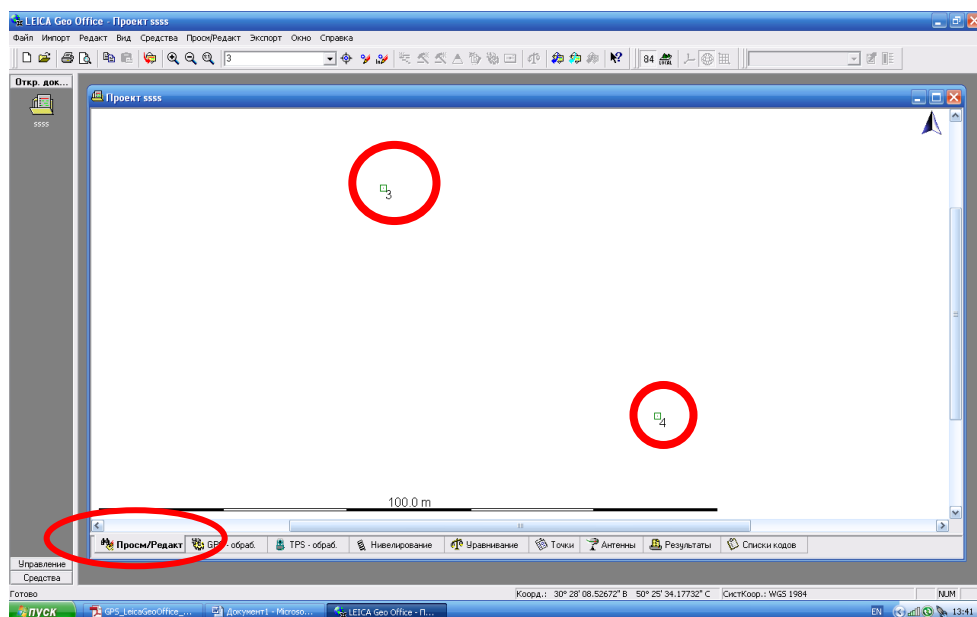


Рис. 18. Графічне представлення

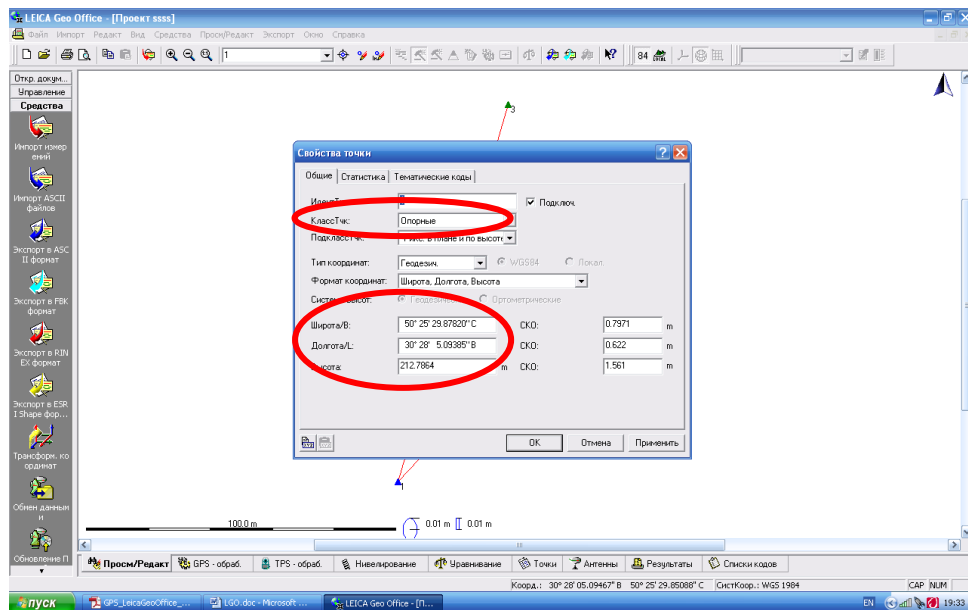


Рис. 19. Властивості точки

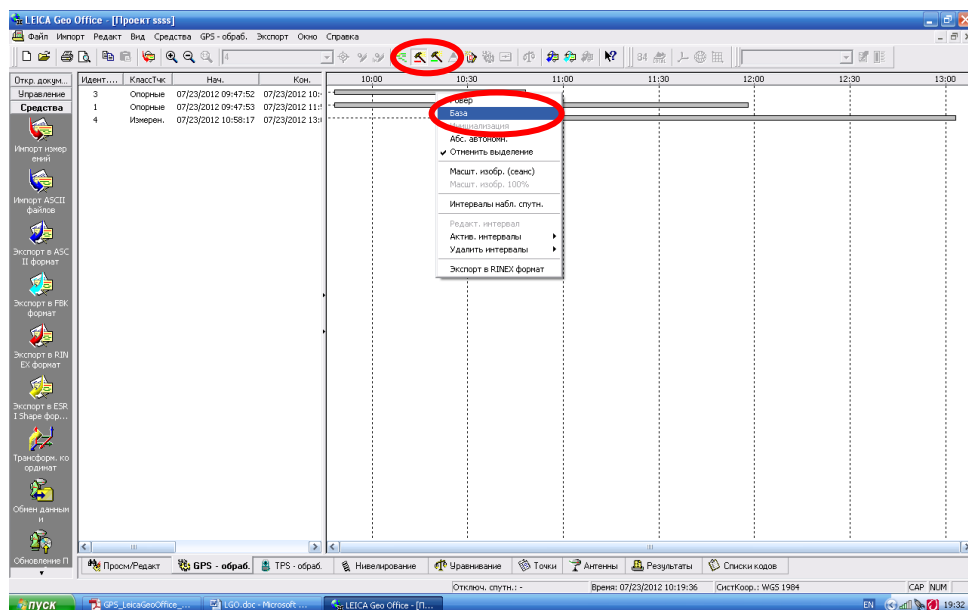


Рис. 20. Вибір вихідної та точок, які необхідно визначити

Залежно від того, яка точка була обрана як опорна їй необхідно призначити статус **База**, а точкам координати яких необхідно визначити призначити статус **Ровер**.

На екрані з'явиться вікно зі списком всіх періодів спостережень і графічним представленням часу спостережень для кожного інтервалу:

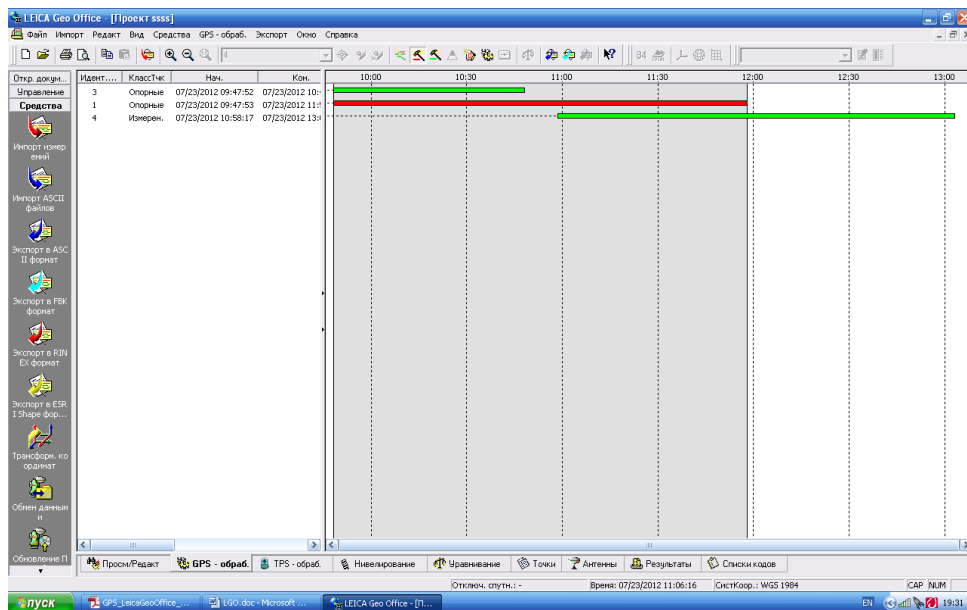


Рис. 21. Часові інтервали спостережень на точках

Колір інтервалів роботи на опорному пункті зміниться на червоний, а на невідомих пунктах зелений.

Тепер можна запустити перший етап обробки, в результаті якої отримаєм базові лінії. Для цього клікніть правою кнопкою мишки у вікні і виберіть **Обработка**.

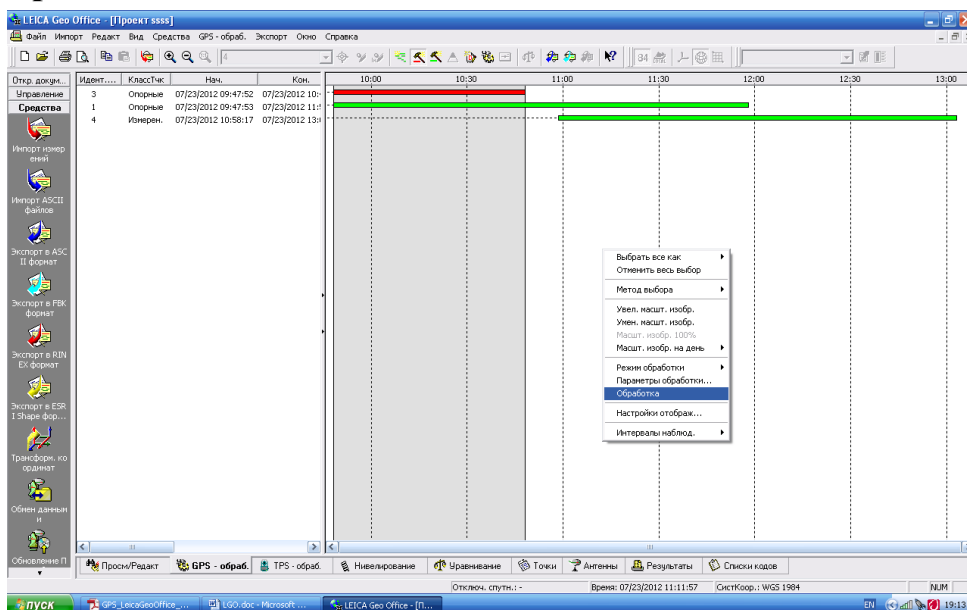


Рис. 22. Запуск процесу обробки

Індикатор ходу обробки в лівій частині меню відображає хід виконання процесу, а число, яке показане праворуч, повідомляє про те, яка за рахунком базова лінія обробляється в даний момент.

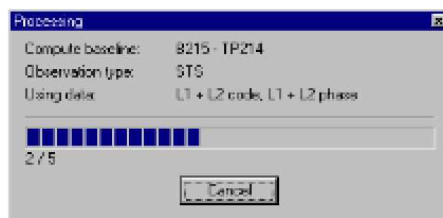


Рис. 23. Обробка векторів

В робочому вікні Результати після завершення обробки можна ознайомитись з її результатами та сформувати звіт. Всі точки встановлення Ровера будуть вказані із своїми координатами, їх точністю і статусом вирішення неоднозначності.

Для виведення на дисплей інформації про всі точки необхідно натиснути на вкладку **Точки** в нижній частині вікна

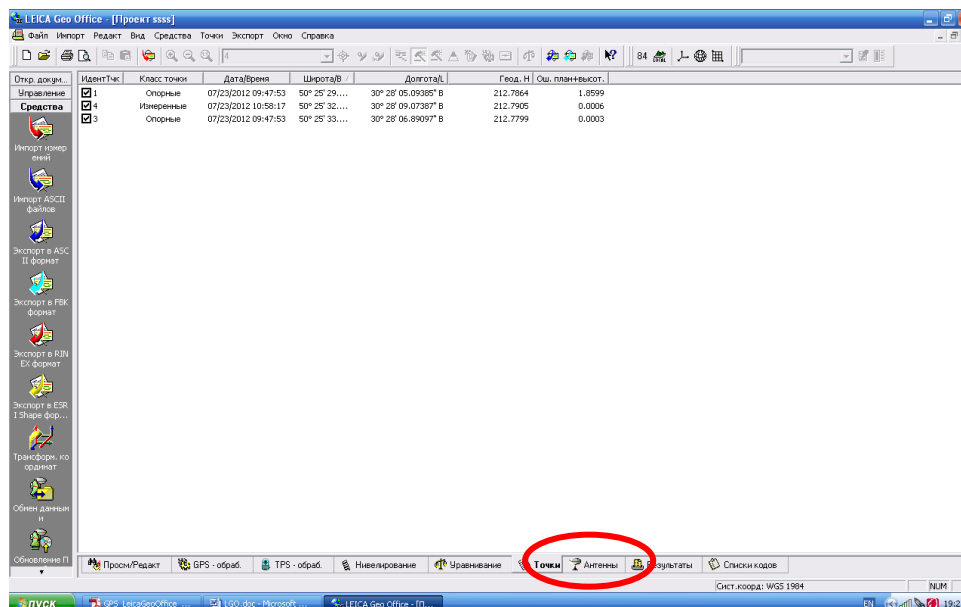


Рис. 24. Каталог координат оброблених точок

Цей каталог може бути надрукований через меню **Файл**. На цьому обробка даних закінчена.

Підготовка звітів

Кінцевим етапом обробки даних супутникових спостережень є підготовка звіту обробки.

Звіт обробки формується при натисканні на кнопку **Отчет**

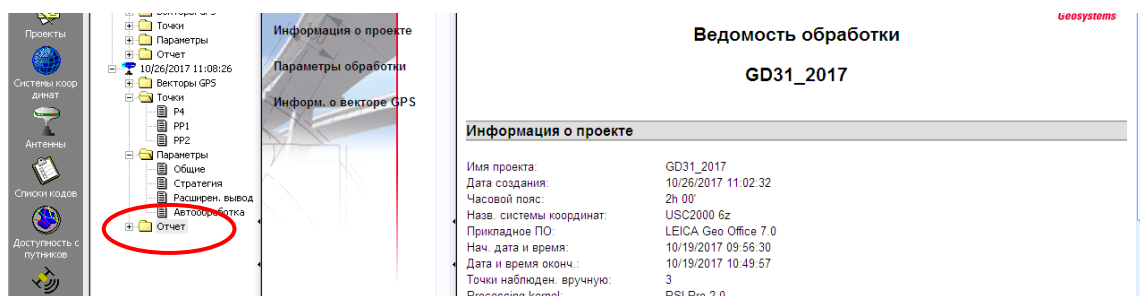


Рис. 25 . Формування звіту обробки

У звіті формується загальна інформація про проект, параметри обробки та інформацію про оброблені вектори.

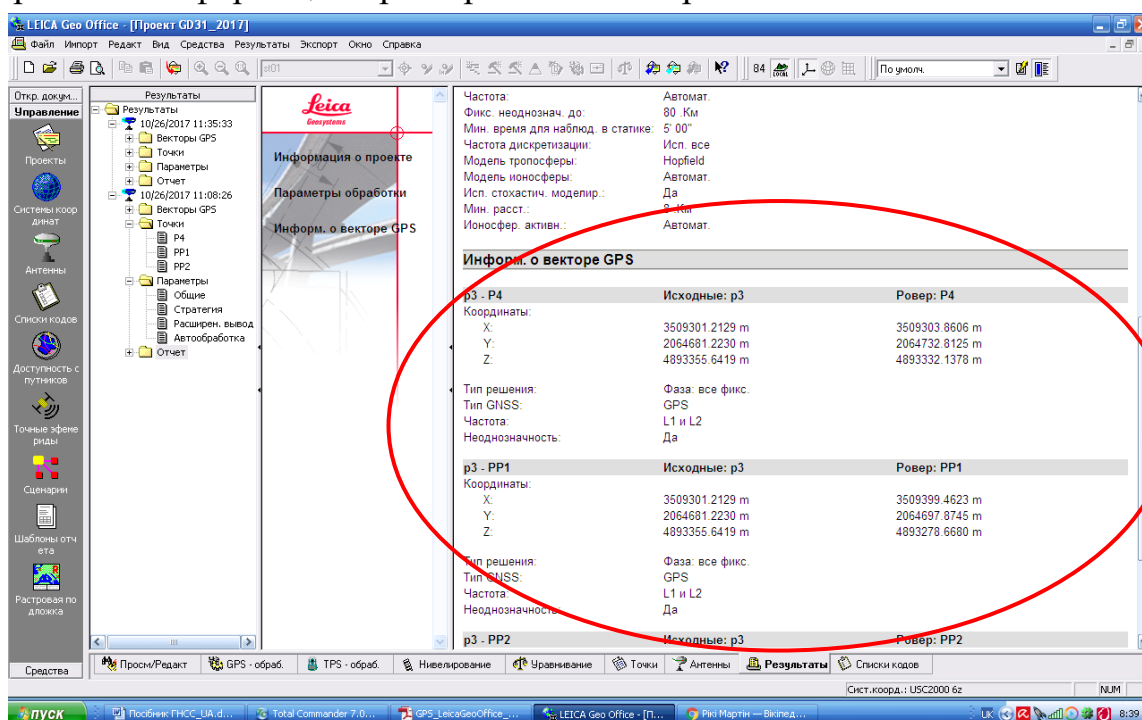


Рис. 26. Інформація про оброблені вектори

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Необхідно опрацювати результати спостережень в режимі статичності на трьох пунктах за допомогою двох приймачів Leica GNSS 1200, які були виконані в лабораторній роботі №4, або завантажити з

Результати отриманих звітів представити в одному файлі word.

Для варіантів додаємо +0,5 см*№варіанту в усі координати вихідної точки. Координата точки буде видана під час заняття.

Альтернативне завдання за дистанційної роботи

В архіві [data_2024.zip](#) знаходяться три набори спостережень, для цього завдання потрібно взяти дані з папки static_1.

Вихідна точка PETRIVSKE, її координати надано в системі координат СК63 ($X = 5619343.107$, $Y = 4204916.720$, $Z = 122,200$)

Файл систем координат [TRFSET.DAT](#)

Файли геоїда [egm08_0N-90N_0E-180E_5x5.gem](#)

Відео виконання роботи [Processing_static_gnss.mp4](#)

Як змінити координати наведено в ролику [зміна координат.mp4](#)

Лабораторне заняття 6. Польові спостереження геодезичних мереж променевим методом ГНСС системою Leica System 1200

Мета: Навчитися виконувати ГНСС вимірювання координат точок в променевим методом

Теоретичний матеріал.

Повністю відповідає наведеному до лабораторного заняття №4, окрім питання планування спостережень.

Планування спостережень

До початку вимірювань складіть схему проведення вимірів з вказанням розташування базової та роверної станції в різних сесіях спостережень (табл.6). Схема передбачає постійне вимірювання на базовій станції з перестановкою лише роверного приймача по точкам мережі (рис.27).

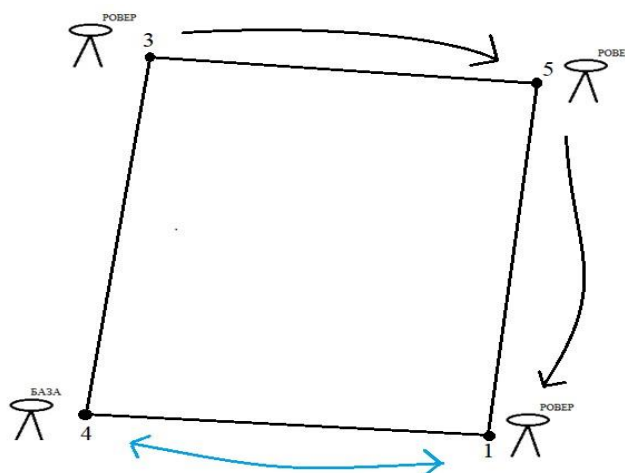


Рис. 27. Схематичне зображення вимірювань променевим методом

Таблиця 6

Схема виконання вимірювань

№	Порядок вимірювань	Точки			
		1	3	5	4
1	4-3	-	Р	-	Б
2	4-5	-	-	Р	Б
3	4-1	Р	-	-	Б
4	1-4	Б	-	-	Р
5	1-3	Б	Р	-	-
6	1-5	Б	-	Р	-

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Необхідно запланувати та провести вимірювання в режимі статичного променевим способом на трьох пунктах за допомогою двох приймачів Leica GNSS 1200. Результати виконання роботи повинні містити:

- опис виконаних робіт.
- схему спостережень
- схему виконання спостережень
- журнал записів висот на станціях на початку та в кінці спостережень, відміток про помилки та зайві виміри, зміни назв точок чи схеми спостережень.

Лабораторне заняття 7. Опрацювання ГНСС спостереження геодезичних мереж променевим методом

Мета: Отримати навички опрацювання результатів ГНСС вимірювання координат точок променевим методом

Теоретичний матеріал.

Повністю відповідає наведеному до лабораторного заняття №5, лише вихідними даними слугуватимуть результати лабораторного заняття №6.

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Виконати опрацювання результатів ГНСС вимірювання координат точок променевим методом. Результати отриманих звітів представити в одному файлі word.

Для варіантів додаємо +0,5 см*№варіанту в усі координати вихідної точки. Координата точки буде видана під час заняття.

Альтернативне завдання за дистанційної роботи

В архіві [data_2024.zip](#) знаходяться три набори спостережень, для цього завдання дані з папки static_ray. Вихідна точка №2, її координати в системі MCK80 та ортометрична висота:

Point Id	Easting [m]	Northing [m]	Ortho. Height [m]	RMSE Easting [m]	RMSE Northing [m]	RMSE Ortho. Height [m]
2	297909.2892	5588260.235	185.8898	0.0048	0.0064	0.0128

- Відео виконання роботи [Processing_ray_gnss.mp4](#)
 - Файл систем координат MCK80 [TRFSET.DAT](#)
Файли геоїда [egm08_0N-90N_0E-180E_5x5.gem](#)
 - Як змінити координати наведено в ролику [зміна координат.mp4](#)
- Посилання на тріал програми <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/software/leica-infinity/leica-infinity-30-day-free-trial>

Лабораторне заняття 8. Опрацювання ГНСС спостережень за допомогою сервісу OPUS

Мета: Навчитися опрацьовувати результати абсолютних ГНСС спостережень, виконаних в режимі статички за допомогою онлайн сервісу OPUS.

Теоретичний матеріал.

Опрацювання статички за допомогою OPUS

OPUS (Online Positioning User Service) — системи, що керується Національною геодезичною службою (NGS) для базової обробки стандартизованих файлів RINEX у фіксованій позиції.

Файли RINEX завантажуються в OPUS, а ваші спостереження порівнюються з відомими положеннями та спостереженнями, записаними на CORS (безперервно діюча опорна станція). Це встановлює базову лінію між місцем вашого опитування та вибраним сайтом CORS і дозволяє звести до мінімуму помилки в позиціонуванні. Потім OPUS повертає єдине виправлене положення для вашого спостережуваного місцезнаходження (рис.28).

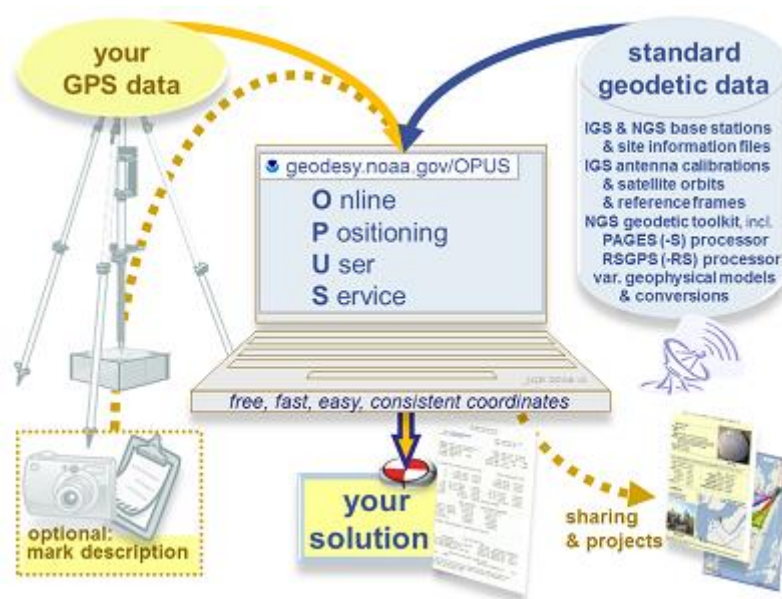


Рис. 28. Схема роботи системи OPUS

OPUS — це відносно швидке та просте рішення для обробки даних GNSS, але воно обмежене за своїм характером. Якість рішення позиціонування буде обмежена якістю ваших метаданих, точністю вимірювання налаштування, тривалістю спостереження, а також відстанню

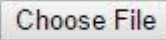
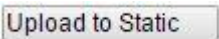
та доступністю локальних сайтів CORS. OPUS надає карту доступності станцій CORS, яка регулярно оновлюється; перевірте це перед виконанням опитування, яке залежить від рішення OPUS.

Карта доступності OPUS:

https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/Plots/Gmap/OPUSRS_sigmap.shtml

Максимальна потенційна точність OPUS становить 1–2 см по вертикалі та 0,5 см по горизонталі. Якщо ваше заплановане застосування потребує вищої точності, ніж ця, можливо, вам доведеться розглянути альтернативні методи. Альтернативи OPUS включають обробку базових ліній за допомогою власного програмного забезпечення, розробленого для конкретного обладнання, яке ви використовуєте, або програмного забезпечення для обробки академічного рівня, такого як GIPSY/OASIS або GAMIT. Для цього потрібні глибші знання конкретного програмного пакета, який ви використовуєте.

Для обробки абсолютних спостережень за допомогою OPUS:

1. Відвідайте веб-сторінку OPUS за адресою <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>.
2. Виберіть файл спостереження (RINEX), який ви завантажуєте, за допомогою цієї  кнопки:
3. Заповніть основні метадані, включаючи модель антени, висоту антени та параметри.
4. Додаткові опції дозволяють налаштувати обробку; більшість параметрів слід залишити в положенні за замовчуванням, якщо у вас немає особливої потреби.
5. Найпоширенішою зміною є зміна базових станцій. Іноді можуть вибиратися певні базові станції, щоб забезпечити узгодженість кількох опитувань або виключити станції, які, як відомо, дають погані результати у вашому регіоні.
6. Закінчивши, виберіть один  або , залежно від тривалості вимірів (швидке статичне: 15 хвилин–2 години; статичне: 2–48 годин).
7. Ви маєте отримати електронний лист протягом кількох хвилин, але це може зайняти кілька годин, якщо є великий трафік або ви надіслали великий файл. Електронний лист буде або рішенням про позицію або повідомленням про помилку.

8. Знайдіть свою позицію в звіті. Зауважте, що звіт містить позиції в кількох системах, еліпсоїдні та ортометричні висоти та помилки.

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Опрацювати абсолютні спостереження на станції ГНСС в режимі статички для 30 хвилинного інтервалу та 48 годинного інтервалу для однієї станції. Станція обирається довільно. Результат повинен містити:

- Дані з отриманого звіту;
- Назва обраної станції.

Лабораторне заняття 9. Польові роботи з топографічного знімання методом RTK ГНСС системою Leica System 1200

Мета: навчитися виконувати роботи з топографічного знімання місцевості ГНСС методами з використанням технології RTK.

Теоретичний матеріал.

Перед проведенням робіт з топографічного знімання потрібно:

1. Визначити межі території, яку необхідно знімати, та скласти технічне завдання.
2. Налаштувати приймачі (встановити параметри знімання, формат даних, систему координат, мережу RTK).
3. Оглянути місцевість для оцінки можливих перешкод (будівлі, дерева, радіоперешкоди).
4. Визначити точки для перевірки прив'язки до геодезичної мережі.

Порядок виконання робіт на станції:

1. Увімкніть роверний приймач і перевірте налаштування режиму RTK (меню Менеджер – налаштування конфігурації).
2. Зайдіть в меню Зйомка, створіть свій проєкт, оберіть тип антени та варіант її розташування на віху.
3. Оберіть систему координат УСК-2000.
4. Виміряйте висоту антени, впишіть її та назву точки в інформацію про станцію та розпочніть вимірювання.
5. Встановіть прилад над точкою з відомою координатою та запусіть вимірювання. Це ініціює процес підключення до базової станції або RTK-мережі (наприклад, через інтернет-з'єднання NTRIP).
6. Виконайте перевірку точності зв'язку з базовою станцією, порівнявши координати відомих контрольних точок із отриманими координатами.
7. Виконайте знімання точок рельєфу, характерних об'єктів місцевості та контурів, фіксуючи атрибутивну інформацію (тип об'єкта, коди точок) у контролері чи абрисі.
8. Завершити знімання та виміряти кілька відомих контрольних точок для додаткової перевірки якості.

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Підготувати звіт, який включає:

1. Опис виконаних робіт.
2. Список координат знятих точок.
3. Інформацію про точність вимірювань.
4. Карту або план зйомки території.

Лабораторне заняття 10. Проєктування GPS мережі відповідно до ГМЗ-3

Мета роботи – побудувати GPS-мережу, використовуючи картографічний матеріал, карти масштабом 1:100000 та 1:200000 обрахувати затрати, визначити грошову вартість робіт та на кальці накреслити результати проєктування GPS мережі відповідно до вимог геодезичної мережі згущення 3 класу (ГМЗ-3).

Основні вимоги до побудови мережі згущення

Геодезична мережа 3 класу будується із метою збільшення кількості пунктів до щільності, яка забезпечує створення знімальної основи великомасштабних топографічних та кадастрових знімів. Вона включає геодезичні мережі 3 і 4 класів та нові мережі 3 класу.

Нові пункти геодезичної мережі 3 класу визначаються відносними методами супутникової геодезії, а також традиційними геодезичними методами полігонометрії, тріангуляції та трилатерації. При цьому середньоквадратична помилка визначення взаємного положення пунктів у плані повинна бути не більшою 0,05 м. Вихідними пунктами для побудови геодезичної мережі 3 класу служать пункти астрономо-геодезичної мережі 1 класу і геодезичної мережі 2 класу.

Основні вимоги до побудови геодезичної мережі 3 класу наведено у табл. 7.

Нормальні висоти марок верхніх центрів пунктів геодезичної мережі згущення 3 класу повинні визначатись геометричним нівелюванням, яке забезпечує точність взаємного положення пунктів за висотою з середньоквадратичною помилкою не більше 0,05 м. В гірській і важкодоступній місцевості нормальні висоти можуть визначатись тригонометричним нівелюванням або GPS - нівелюванням, яке виконується відносними методами супутникової геодезії з урахуванням висот квазігеоїда, отриманих з гравіметричних даних. У цьому випадку середньоквадратична помилка визначення взаємного положення суміжних пунктів за висотою не повинна перевищувати 0,20 метра.

Таблиця 7

Основні вимоги до побудови геодезичної мережі 3 класу

Параметри мережі	Методи побудови			
	GPS	тріангуляція	полігонометрія	трилатерація
Периметр полігону, км			70-90	
Найбільша довжина ходу, км			30	
Довжина сторони (віддаль між пунктами GPS), км				
Найбільша	10	8	8	8
Найменша	2	5	2	2
Кількість сторін у ході - не більше	6	0.05	6	
Середньоквадратична помилка взаємного положення пунктів, м	0,05	+1",5	0,05	0,05
Середньоквадратична помилка вимірювання кутів не більше, с		6".0		
Найбільша нев'язка трикутника, с			+1",5	
Кутова нев'язка ходу, сек.			3"(к.кв)n	
Відносна помилка вимірювання сторони (базису) не менше, m(s)/s	$\frac{1}{200000}$	$\frac{1}{200000}$	$\frac{1}{200000}$	$\frac{1}{200000}$
Середньоквадратична помилка вимірювання сторони не більше, м			0,04	0,04

Для розрахунку норми часу та складу бригади потрібно керуватись інформацією в таблицях 8 та 9.

Таблиця 8

Норми часу на рекогностування та обстеження пунктів (на один пункт), годин

Номер норми	Класифікація пунктів	Категорія важкості робіт		
		1	II	III
4.3	Пункти геодезичної мережі згущення 3 класу	2.2	2.8	3,6
4,4	Пункти геодезичної мережі 4 класу	1.5	1.9	2,6

Таблиця 9

Норми часу на визначення координат супутниковими приймачами в статичному режимі на один пункт, годин

Номер норми	Класифікація пунктів	Категорія трудності робіт		
		I	II	III
7,3	Пункти геодезичної мережі згущення 3 класу	3,3	4.5	6
7,4	Пункти геодезичної мережі 4 класу	2,6	3,6	4,6

Фізико-географічна характеристика району робіт

Опис геодезичної мережі 3 класу за фізико-географічними характеристиками району робіт включає такі дані:

Дорожня мережа: розвиненість дорожньої мережі та покриття доріг, метричні параметри доріг, як впливає рельєф району на дорожню мережу.

Рельєф та ґрунти: визначається рельєф (гористий, рівнинний, т.п), чи є долини, рівчаки, болота т.п. Які є ґрунти на даній території. Глибина промерзання та інші потрібні характеристики.

Гідрографія: чи характерна для даного району велика чи мала кількість річок, вказати та описати найбільшу. Дати характеристику урізам води. Чи судноплавні річки. Вказати про заболоченість, та її площу та описати інші характеристики гідрографії даної місцевості.

Рослинність: описати територію відносно видів лісів. Вказати висоти, товщину дерев, відстань між деревами. Особливості заліснення описуваної території. Вказати на наявність садів, рідколісся та інших характеристик рослинності.

Кліматичні умови: пояснити та описати всі відповідні характеристики. Серед яких обов'язково: кліматичний пояс, температурні

коливання, види та часовий період опадів, характеристику пор року для даної місцевості, швидкість вітру та інші.

Особливості проєктування GPS мережі

Треба обрахувати кількість сесій для GPS-мережі ГМЗ-3 класу, для цього треба знати:

- загальну кількість пунктів, (n);
- референцні пункти;
- пункти GPS
- кількість приймачів, (к)
- кількість пунктів перекриття між сесіями, (с)
- кількість сесій, (N)
- тривалість сесій,

$$N = \frac{n - c}{k - 1}.$$

Треба визначити кількість змін та норми часу на визначення координат супутниковими приймачами в статичному режимі.

Вибір точок

Перший крок у плануванні геодезичної GPS-зйомки полягає у тому, щоб знайти карту місцевості якнайбільшого масштабу, на яку можна нанести всі потрібні точки. Для цього добре підходять топографічні карти від 1:25000 до 1:100000. Крім того, карти місцевих доріг також досить корисні. Усі заплановані для геодезичної зйомки точки позначаються на карті разом із відомими контрольними (опорними) точками. У більшості випадків не слід використовувати контрольні точки, які не включені до національних систем відліку. Використання координат точок невідомої точності може спричинити чимало проблем. Тому краще вибирати точки національної мережі, навіть якщо вони знаходяться на більшій відстані від місця зйомки, ніж інші контрольні знаки.

Під час планування GPS-зйомки і вибору пунктів слід брати до уваги лише три головні вимоги:

1. Відсутність перешкод для поширення сигналу від супутників при кутах місця понад 20°.

2. Відсутність відбиваючих поверхонь (наприклад, металевих споруд, водних поверхонь, огорож) навколо пункту, щоб уникнути додаткового відбиття.

3. Відсутність електричних пристроїв (наприклад, передавачів, високовольтних кабелів тощо) для того, щоб уникнути небажаних змін радіосигналу.

Наведені вище вимоги мають найбільше значення; однак близькість до дороги – це зручність, яка збільшує продуктивність праці. Наступними бажаними для GPS-пункту є такі вимоги: маркер знаходиться на території, яка належить громадським організаціям і де гарантується його зберігання; відкрита видимість на азимутальну позначку; наявність місця для паркування автомобіля.

Надійна прив'язка GPS-мережі до національної системи відліку потребує вимірювань на трьох чи більше контрольних точках. Зараз багато місцевостей мають супермережі, які забезпечують зручні знаки для геодезичної зйомки GPS. Якщо доступні точки супермережі, то можна навіть не робити на них рекогносцирування перед польовими роботами, оскільки вони вже вибирались з урахуванням специфіки GPS-вимірів. Відповідна планова прив'язка забезпечується вимірами горизонтальних координат відносно національних контрольних точок. Прив'язка до висотних реперів (нівелювання) звичайно вимагає детальнішого планування. Три репери по кутах території зйомки забезпечать мінімальну прийнятну висотну опорну систему віднесення.

Час спостережень

Другий крок попереднього планування полягає у визначенні періоду доби оптимального для спостереження, та прийняття рішення щодо поділу його на сесії (періоди, коли два чи більше приймачів одночасно стежать за тими ж самими супутниками).

Оптимальне «вікно» доступності супутників – це інтервал часу, коли одночасно можна спостерігати максимальну кількість супутників. Завдяки різниці між зоряним та Всесвітнім часом проміжки часу, протягом яких супутник можна спостерігати, зсуваються на чотири хвилини кожного наступного дня. Наприклад, якщо деякі з супутників у певній геометричній конфігурації сьогодні з'являються о 9:00 ЦТ, то наступного дня о 8:56 ЦТ вони будуть розташовані на небі приблизно в такому ж положенні. Цей інтервал є функцією місця розташування пункту спостережень. Оптимальне

«вікно» визначається шляхом, вивчення карт видимих місць супутників, які в координатах кута місця та азимута складаються за допомогою програмного забезпечення, що надається виробниками GPS-устаткування.

Сесії

Період часу, вибраний для спостережень називають сесією. Прийнятним для початку першої сесії під час статичної геодезичної зйомки є момент, коли чотири, або більше супутників мають місця більші ніж 15° - 20° , а останнє спостереження цієї сесії закінчиться тоді, коли четвертий супутник опуститься нижче 15° - 20° . Це лише загальне правило, оскільки корисними також є періоди спостереження трьох супутників перед сходом та після заходу четвертого супутника. Чотири фактори визначають тривалість певних спостережень:

1. Довжина бази.
2. Кількість видимих супутників (впливає на геометрію).
3. Відносне розташування супутників та його зміна.
4. SNR (відношення потужностей сигнал/шум) сигналу прийнятого із супутника.

Взагалі, потрібно якнайбільше супутників, які можна спостерігати, якнайкраща їх геометрія, якнайкоротша тривалість спостережень тощо. Крім цього, тривалість сесії може бути зменшена у випадку коротких баз.

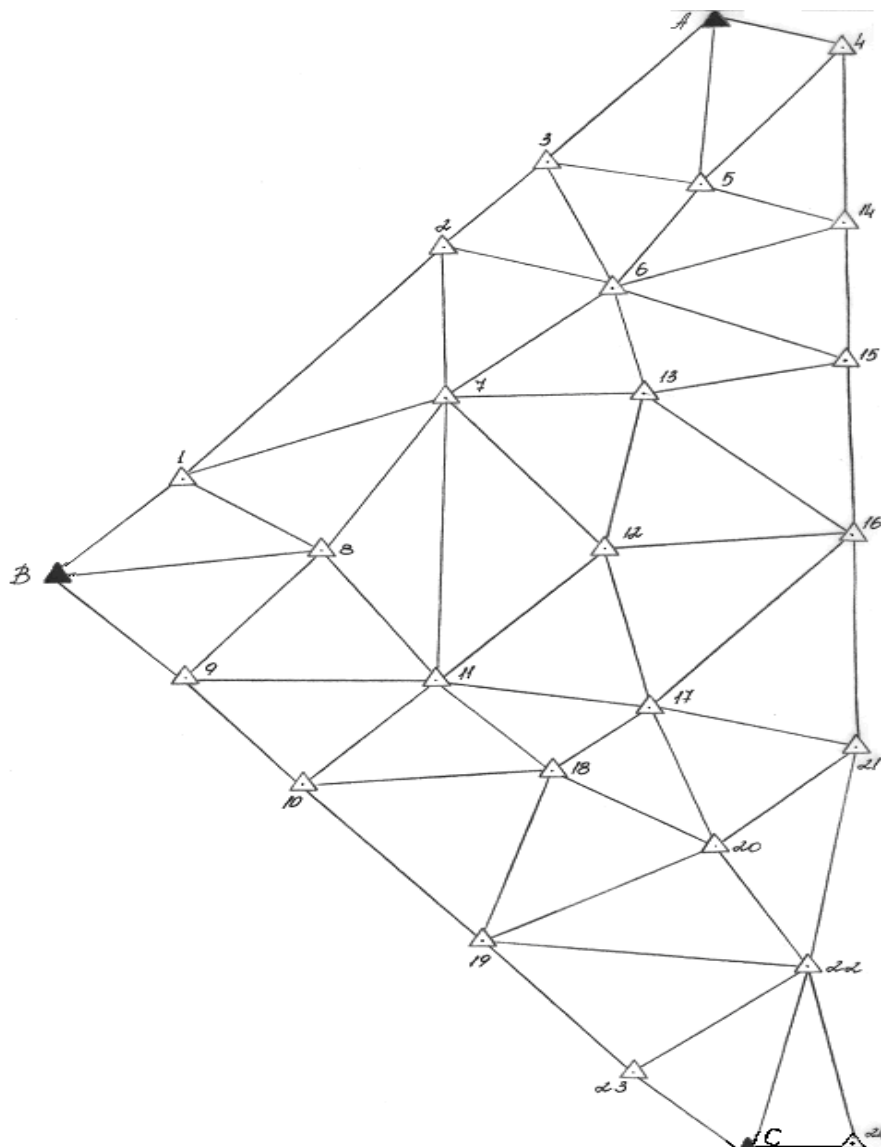
Таблиця 10

Залежність тривалості сесії від довжини бази

База, км	Тривалість сесії, хв
0,1 – 1,0	10 – 30
1,1 – 5,0	30 – 60
5,1 – 10,0	60 – 90
10,1 – 30,0	90 – 120

Порядок роботи на станції

1. Підготовчі роботи:
 - а) установка антени;
 - б) калібрування штатива;
 - в) вимірювання фазового центра системи над маркером;
 - г) калібрування приймача;
 - д) ініціалізація.



2. Спостереження на станції виконується залежно від вибраного режиму робіт та технічних можливостей приймача.

3. Заповнення формуляру спостережень на пункті:

- назва проєкту і станції;
- дата і номер сесії;
- момент часу початку та закінчення спостережень;
- індифікатор станції, використовується для імені файлу даних;
- ім'я спостерігача;
- серійні номери приймача і антени;
- висота антени та ексцентриситета;
- метрологічні дані (волога та суха температура, тиск);
- проблеми, що виникли під час спостережень.

Як приклад можна навести проєктування GPS мережі відповідно до ГМЗ-3 (на кальці) та виконані розрахунки:

Рис. 29. GPS мережа відповідно до ГМЗ-3

Опис геодезичної мережі 3 класу за фізико-географічними характеристиками району робіт включає такі дані:

Дорожня мережа: розвиненість дорожньої мережі та покриття доріг, метричні параметри доріг, як впливає рельєф району на дорожню мережу.

Даний район має розвинену дорожню мережу, дороги мають удосконалене покриття, покриття щебенем, асфальтом, гравієм. Ширина доріг коливається від 8(10) до 12(15). Оскільки даний район не рівнинний дороги дуже звивині, велика кількість автомобільних мостів вантажопідйомністю від 50 т. Деякі ділянки доріг є небезпечні оскільки проходять по ухилах пагорбів.

Рельєф та ґрунти: місцевість горбиста прорізана річковими долинами, обривами, промоїнами, болотами. Ґрунти є звичайними для даної території. Глибина промерзання ґрунту 0,5-1 м.

Гідрографія: для даного району характерна велика кількість річок. Найбільша річка-Соть тече з півдня на захід, швидкість течії 0,1 м/с. Річка судноплавна. Урізи води: 109,7 і 107,8 м. Інші річки несудноплавні. На заході територія заболочена. Площа заболоченої території становить 15-20 км².

Рослинність: на території розташовані мішані ліси, хвойні та листяні. Середня висота від 16 до 20 м, товщина 0,16-0,20 м, відстань між деревами 4-5 м. Особливо заліснені пагорби та гори. Є фруктові сади, рідколісся, лугова рослинність, комишові та тросникові зарості. Найбільший ліс розташовано на схилах гори Радості і має приблизну площу 16 км². Сновський ліс-6 км². Інші ліси мають площу, що не перевищує 4 км².

Кліматичні умови: помірний кліматичний пояс, морози сягають -15°-20°C. На більшості території опади бувають у вигляді дощу та снігу. Весна у першій половині прохолодна у другій тепла, денна температура коливається в межах 7-15°C. Опади бувають рідко головним чином у вигляді дощу. Осінь прохолодна із частими та тривалими дощами. Вітри протягом року здебільшого південно-східні переважно зі швидкістю 8-9 м/с. У літку характерні суховії зі швидкістю до 15 м/с. Кожні 5 років трапляється посуха.

Розрахуємо кількість сесій для GPS-мережі для ГМЗ - 3 класу:

- загальна кількість пунктів (n) = 27
- референцні пункти = 3
- пункти GPS = 24
- k - кількість приймачів, k = 3
- c кількість пунктів перекриття між сесіями, c = 1
- N - кількість сесій

$$N = \frac{n - c}{k - 1} = \frac{27 - 1}{3 - 1} = \frac{26}{2} = 13(\text{сесій})$$

Тривалість сесій: 60 хв

Приймаємо рішення працювати в дві-зміни, оскільки за встановленими нормами часу на визначення координат супутниковими приймачами в статичному режимі на один пункт ГМЗ-3 за II категорією складності робіт відводиться 4,5 год. Тому, працюючи в 2 зміни (18^б), за добу, бригада має пройти 4 сесії.

№ сесії	Приймачі		
	1-ий	2-ий	3-ій
172a	C	24	22
172b	C	23	20
172c	19	23	18
172d	11	10	18
172e	11	9	17
172f	8	9	12
173a	1	B	12
173b	1	2	7
173c	3	2	6
173d	5	A	6
173e	5	4	13
173f	15	4	21
174a	16	14	21

Завдання, що виконуються на лабораторній роботі

Необхідно виконати проєктування мережі ДГМ з пунктів ГНСС на карті масштабу 1:100000. Ці роботи включають такі етапи:

1. Визначення та нанесення на карті розташування місць закладки пунктів ГНСС згідно вимог по відстаням між пунктами та умовами якісних спостережень.

2. Складання плану вимірювань запроєктованої мережі ДГМ по сесіям спостережень на станціях.
3. Розрахунок затрат часу на виконання робіт.

Топографічна карта масштабу 1:10000 [lab_map.jpg](#)

Файл для отримання координат вихідних пунктів ДГМ [Лаб_ДГМ.xlsx](#)
(координати пунктів прорахуються у відповідності до вказаного номеру варіанту).

Список літератури

1. Б. Гофман-Веленгоф, Г. Ліхтенегер, Д. Колінз. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика. – Київ : Наукова думка, 1995. – 380 с.
2. А. Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський. Геодезія. Ч II : підручник. – Львів : Львівська політехніка, 2007 – 508 с.
3. Subirana, J. S., Hernández-Pajares, M., Zornoza, J. M. (2013). GNSS Data Processing. Volume I: Fundamentals and Algorithms. https://gssc.esa.int/navipedia/GNSS_Book/ESA_GNSS-Book_TM-23_Vol_I.pdf
4. <https://gage.upc.edu/glab-download/> - Ресурс від GAGE Lab, який надає інструменти для аналізу даних GNSS, включаючи GLab (GNSS data analysis software).
5. <https://geodesy.noaa.gov/UFCORS/> - сервіс для завантаження даних супутникових спостережень в форматі RINEX від мережі безперервно діючих опорних станцій (CORS).
6. <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss> - архів спостережень станцій ГНСС.
7. <https://noaa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer> - мапа мережі безперервно діючих опорних станцій (CORS).
8. <https://igs.org/network> - Глобальна мережа станцій GNSS, що надає високоточні дані для геодезії, геофізики та кліматології.
9. <https://www.epncb.oma.be> - Європейська мережа постійних станцій GNSS для геодезичних і геофізичних досліджень
10. <https://www.gnssplanning.com/#/settings> - Інструмент для планування супутникових спостережень GNSS.
11. <http://www.taroz.net/GNSS-Radar.html#> - Онлайн-інструмент для аналізу супутників GNSS у реальному часі.
12. <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/software/leica-infinity/leica-infinity-30-day-free-trial> - Програмне забезпечення Leica Infinity
13. https://www.cropos.hr/files/docs/manuals/leica_gps1200_user_en.pdf - інструкція користувача GNSS leica 1200.

Навчально-методичне видання

ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ

Методичні вказівки та завдання
до виконання лабораторних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

Укладачі: **Медведський** Юрій Вікторович,
Дем'яненко Роман Анатолійович

Комп'ютерне верстання *А.П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 2,79. Обл.-вид. арк. 3,0
Електронний документ. Вид № 94/V-25

Виконавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.