

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
САДІВНИЦТВА**

**Факультет лісового і садово-паркового господарства**

*Кафедра геодезії, картографії і кадастру*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ  
ІЗ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
«СУПУТНИКОВА ГЕОДЕЗІЯ ТА СФЕРИЧНА АСТРОНОМІЯ»**

для студентів спеціальності 193

«Геодезія та землеустрій»

Освітній рівень «бакалавр»

**Умань – 2022**

Укладачі: д. геогр. н., проф. Кисельов Ю.О.; д. техн. н., проф. Рудий Р.М.; д. техн. н. Іванчук О.М.; к. с.-г. н., доц. Шемякін М.В.; к. е. н., доц. Удовенко І.О.; к. е. н., доц. Боровик П.М.; к. с.-г. н., доц. Кирилюк В.П.; к. техн. н., ст. викл. Заяць І.В.; ст. викл. Кононенко С.І.; к. техн. н. Лозинський В.А., викл. Глобенко О.В.

Рецензенти: доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності

Уманського національного університету садівництва С.П. Сонько;

кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою Білоцерківського національного аграрного університету В.М. Гладілін.

Методичні вказівки розглянуті на засіданні кафедри геодезії, картографії і кадастру

Рекомендовано до видання науково-методичною комісією факультету лісового і садово-паркового господарства УНУС

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Тематика практичних занять</b> .....	6
<b>Практичне заняття №1. Точки та лінії небесної сфери</b> .....	7
<b>Практичне заняття №2. Перерахування астрономічних координат в геодезичні</b> .....	11
<b>Практичне заняття №3. Системи зоряного та сонячного часу</b> .....	16
<b>Практичне заняття №4. Визначення азимуту за спостереженнями Сонця</b> .....	21
<b>Практичне заняття №5. Величини, що впливають на положення зірок</b> .....	25
<b>Практичне заняття №6. Перетворення супутникових координат</b> .....	27
<b>Практичне заняття №7. Оцінка точності вимірювань геодезичною супутниковою апаратурою</b> ...	30
<b>Практичне заняття №8. Визначення коефіцієнтів переходу між системами координат</b> .....	32
<b>Практичне заняття №9. Складання проекту супутникової мережі</b> .....	35
<b>Практичне заняття №10. Планування сесій GPS – спостережень в програмі MStar</b> .....	40
<b>Практичне заняття №11. Ознайомлення з програмним комплексом «Маркшейдерсько-геодезичні мережі і зйомки» MGSeti</b> .....	37
<b>Розподіл балів, які отримують студенти</b> .....	44
<b>Список використаних джерел</b> .....	44

## ВСТУП

Вивчення курсу «Супутникова геодезія та сферична астрономія» передбачає освоєння студентами певної кількості практичних аспектів, одним з яких є такий вид робіт як складання робочого проекту на виконання топографо-геодезичних робіт по створенню супутникової геодезичної мережі згущення в заданому районі карти. Враховуючи значний рівень розвитку та вдосконалення супутникових методів визначення координат, сучасний етап виробництва топографо-геодезичних робіт ставить їх на одне з перших місць.

Супутникові методи дають змогу створювати просторові (планові та висотні) мережі одночасно Супутникові геодезичні мережі згущення забезпечують створення знімальної (робочої) основи великомасштабного топографічного та кадастрового знімання. Виробничий цикл побудови супутникових геодезичних мереж згущення складається з таких основних циклів робіт:

- проектування мереж;
- рекогностування й побудова геодезичних пунктів;
- спостереження методами супутникової геодезії;
- математичне опрацювання вимірів;
- складання каталогів просторових координат.

Контекст вищезазначеного формує парадигму того, що знання студентом нормативних та методологічних підходів до проектування та створення геодезичних супутникових мереж згущення є запорукою конкурентоспроможності майбутнього інженера-землепорядника на ринку топографо-геодезичних послуг.

**Метою викладання дисципліни** “Супутникова геодезія та сферична астрономія” є формування знань, вмінь та навичок студентів, по сучасних методах, способах використання космічної техніки для вирішення геодезичних завдань.

**Предметом навчальної дисципліни є:**

- **сферична астрономія** – системи координат та часу, математичні методи визначення видимих положень небесних світил, методи визначення астрономічних координат пунктів спостереження та астрономічних азимутів напрямків;
- **супутникова геодезія** – основи теорії орбітального руху штучних супутників Землі, способи оптичних та радіотехнічних спостережень, будова та функціонування глобальних навігаційних супутникових систем, координатні системи відліку, використання астрономічних та супутникових спостережень для побудови державної геодезичної мережі та проведення топографо-геодезичних і земельно-кадастрових знімань.

**Основними завданнями вивчення дисципліни** є набуття студентами теоретичних знань щодо процесів та явищ функціонування супутникової системи для вирішування практичних завдань геодезичного напрямку та задач моніторингу і навігації транспортних засобів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

- знати** - структуру супутникової геодезичної системи та характеристики її основних елементів, завдання, розв'язувані супутникової геодезією, способи та методи супутникових вимірів;
- вміти** - перетворювати геодезичні координати пункту в геоцентричну систему; визначати топоцентричні прямокутні координати супутника; визначати геоцентричні прямокутні і сферичні координати супутника; обчислювати збурення викликані дією Місяця і Сонця; обчислювати збурення викликані дією геопотенціалу Землі; обчислювати елементи орбіти, які характеризують форму і розмір орбіти;
- оволодіти **компетентностями**, зокрема **загальними** – здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями; здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; здатність планувати та управляти часом;
- здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології, та **фаховими** – здатність застосовувати фундаментальні знання для аналізу явищ природного і техногенного походження при виконанні професійних завдань у сфері геодезії та землеустрою;
- здатність застосовувати теорії, принципи, методи фізико-математичних, природничих, соціально-економічних, інженерних наук при виконанні завдань геодезії та землеустрою;

здатність обирати та використовувати ефективні методи, технології та обладнання для здійснення професійної діяльності у сфері геодезії та землеустрою;

здатність застосовувати сучасне інформаційне, технічне і технологічне забезпечення для вирішення складних питань геодезії та землеустрою;

здатність виконувати дистанційні, наземні, польові та камеральні дослідження, інженерні розрахунки з опрацювання результатів досліджень, оформляти результати досліджень, готувати звіти при вирішенні завдань геодезії та землеустрою;

здатність збирати, оновлювати, опрацьовувати, критично оцінювати, інтерпретувати, зберігати, оприлюднювати і використовувати геопросторові дані та метадані щодо об'єктів природного і техногенного походження;

здатність застосовувати інструменти, прилади, обладнання, устаткування при виконанні завдань геодезії та землеустрою,

а також досягти таких **програмних результатів навчання** –

вільно спілкуватися в усній та письмовій формах державною та іноземною мовами з питань професійної діяльності;

організувати і керувати професійним розвитком осіб і груп;

доносити до фахівців і нефахівців інформацію, ідеї, проблеми, рішення, власний досвід та аргументацію;

застосовувати концептуальні знання природничих і соціально-економічних наук при виконанні завдань геодезії та землеустрою;

знати історію та особливості розвитку геодезії та землеустрою, їх місце в загальній системі знань про природу і суспільство;

збирати, оцінювати, інтерпретувати та використовувати геопросторові дані, метадані щодо об'єктів природного і техногенного походження, застосовувати статистичні методи їхнього аналізу для розв'язання спеціалізованих задач у сфері геодезії та землеустрою;

обирати і застосовувати інструменти, обладнання, устаткування та програмне забезпечення, які необхідні для дистанційних, наземних, польових і камеральних досліджень у сфері геодезії та землеустрою;

планувати складну професійну діяльність, розробляти і реалізовувати проєкти у сфері геодезії та землеустрою за умов ресурсних та інших обмежень.

## ТЕМАТИКА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>МОДУЛЬ 1. СФЕРИЧНА АСТРОНОМІЯ</b>		
1	ПР-1. Точки і лінії небесної сфери	4
2	ПР-2 Перерахування астрономічних координат в геодезичні	2
3	ПР-3. Системи зоряного та сонячного часу	2
4	ПР-4. Визначення азимуту по спостереженнях Сонця	2
5	ПР-5. Величини, що впливають на положення зірок	4
6	ПР-6. Перетворення супутникових координат	16
	<i>Разом за 1 модуль (семестр)</i>	30
<b>МОДУЛЬ 2. СУПУТНИКОВА ГЕОДЕЗІЯ</b>		
7	ПР-7. Оцінка точність вимірювань геодезичною супутниковою апаратурою	4
8	ПР-8. Визначення коефіцієнтів переходу між системами координат	2
9	ПР-9. Складання проекту супутникової мережі	18
10	ПР-10 Планування сесій GPS-спостережень в програмі MStar	6
	<i>Разом за 2 модуль (семестр)</i>	30
	<b>Разом</b>	60

## МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

### Практична робота №1. Точки та лінії небесної сфери. Теоретична частина

**Небесна сфера** – сфера довільного радіусу на яку спроектовано всі небесні тіла.

**Прямовисна лінія** (або вертикальна лінія)— пряма, що проходить через центр небесної сфери і збігається з напрямом нитки виска (вертикалі) у місці спостереження. Для спостерігача, що перебуває на поверхні Землі, прямовисна лінія проходить через центр Землі та точку спостереження.

**Зеніт і надир.** Прямовисна лінія перетинається з поверхнею небесної сфери в двох точках —зеніті  $Z$ , над головою спостерігача, і надирі  $Z'$  — діаметрально протилежній точці.

**Математичний горизонт** — великий круг небесної сфери, площина якого перпендикулярна до прямовисної лінії. Математичний горизонт ділить поверхню небесної сфери на дві половини: видиму для спостерігача, з вершиною в зеніті, і невидиму, з вершиною в надирі. Математичний горизонт не збігається з видимим горизонтом унаслідок нерівності поверхні Землі і різною висотою точок спостереження, а також викривленням променів світла в атмосфері.

**Вертикальний круг** (круг висот або вертикал світила) — велике коло небесної сфери, що проходить через зеніт, світило і надир.

**Вісь світу** — лінія, навколо якої відбувається обертання небесної сфери.

**Полюси світу.** Вісь світу перетинається з поверхнею небесної сфери в двох точках — північному полюсі світу і південному полюсі світу. Північним полюсом  $P$  називається той, з боку якого обертання небесної сфери відбувається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на сферу ззовні. Якщо дивитися на небесну сферу зсередини, (що ми зазвичай і робимо, спостерігаючи зоряне небо), то в околиці північного полюса світу  $P$  її обертання відбувається проти годинникової стрілки, а в околиці південного полюса світу  $P'$  - за годинниковою стрілкою.

**Небесний екватор** — велике коло небесної сфери, площина якого перпендикулярна осі світу.

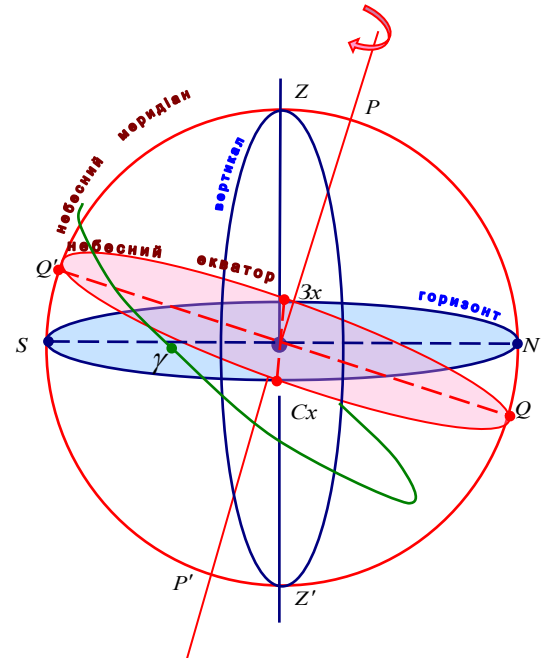
Є проекцією земного екватора на небесну сферу. Небесний екватор поділяє поверхню небесної сфери на дві півкулі: північну півкулю, з вершиною в північному полюсі світу, та південну півкулю, з вершиною в південному полюсі світу.

**Точки сходу і заходу.** Небесний екватор перетинається з математичним горизонтом у двох точках: точці сходу і точці заходу. Точкою сходу називається та, з якої точки небесної сфери внаслідок її обертання перетинають математичний горизонт, переходячи з невидимої півсфери у видиму.

**Небесний меридіан** — великий круг небесної сфери, площина якого проходить через прямовисну лінію і вісь світу. Небесний меридіан поділяє поверхню небесної сфери на дві півкулі — східну півкулю, з вершиною в точці сходу, і західну півкулю, з вершиною в точці заходу.

**Полуденна лінія (лінія SN)** — лінія перетину площини небесного меридіана і площини математичного горизонту.

**Точки півночі і півдня.** Небесний меридіан перетинається з математичним горизонтом в двох точках: точці півночі і точці півдня. Точкою півночі називається та, яка ближче до північного полюсу світу.



**Екліптика** — великий круг небесної сфери, перетин небесної сфери і площини земної орбіти. Екліптикою здійснюється видимий річний рух Сонця по небесній сфері. Площина екліптики перетинається з площиною небесного екватора під кутом  $\varepsilon = 23^{\circ}26'$ .

**Точки рівнодення.** Екліптика перетинається з небесним екватором у двох точках — точці весняного рівнодення й точці осіннього рівнодення. Точкою весняного рівнодення називається та, в якій Сонце у своєму річному русі, переходить із південної півкулі небесної сфери в північну. У точці осіннього рівнодення Сонце переходить із північної півкулі небесної сфери в південну.

**Точки сонцестояння.** Точки екліптики, віддалені від точок рівнодення, на  $90^{\circ}$  називаються точкою літнього сонцестояння (у північній півкулі) і точкою зимового сонцестояння (у південній півкулі).

### Системи астрономічних координат.

#### Горизонтна система координат.

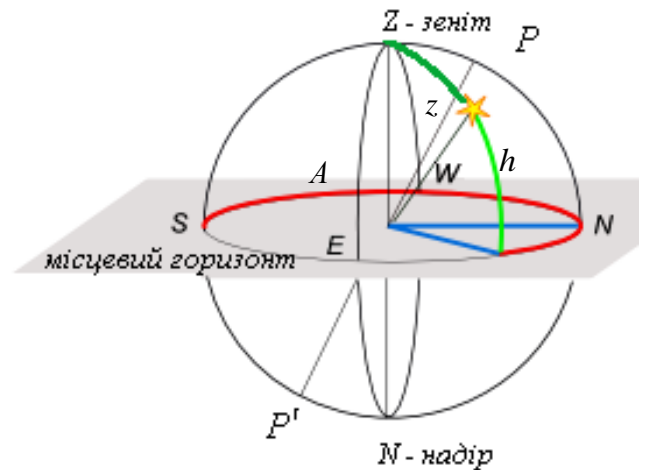
У цій системі основною площиною є площина математичного горизонту. Однією координатою є або висота світила над горизонтом  $h$ , або його **зенітна відстань**  $z$ . Іншою координатою є азимут  $A$ .

- **Висотою**  $h$  світила називається дуга вертикального кола від математичного горизонту до світила, або кут між площиною математичного горизонту і напрямком на світило. Висоти відраховуються в межах від  $0^{\circ}$  до  $+90^{\circ}$  до зеніту і від  $0^{\circ}$  до  $-90^{\circ}$  до надиру.

- **Зенітною відстанню**  $z$  світила називається дуга вертикального кола від зеніту до світила, або кут між прямовисною лінією і напрямком на світило.

Зенітні відстані відраховуються в межах від  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  від зеніту до надиру.

- **Азимутом**  $0^{\circ} < A < 360^{\circ}$  світила називається дуга математичного горизонту, відрахована за ходом годинникової стрілки від точки півдня до вертикального кола світила, або кут між полудневою лінією та лінією перетину площини математичного горизонту з площиною вертикального кола світила.



#### Перша екваторіальна система координат

У цій системі основною площиною є площина небесного екватора. Перший кут  $\delta$  - схилення (відмінювання), відраховується уздовж кола відмін від небесного екватора  $Q'Q$  до об'єкту  $\sigma$  і вимірюється в градусній мірою від  $-90$  до  $+90^{\circ}$  (Знак  $+$  відповідає положенню об'єкта в північній півкулі небесної сфери, знак  $-$  - у південному).

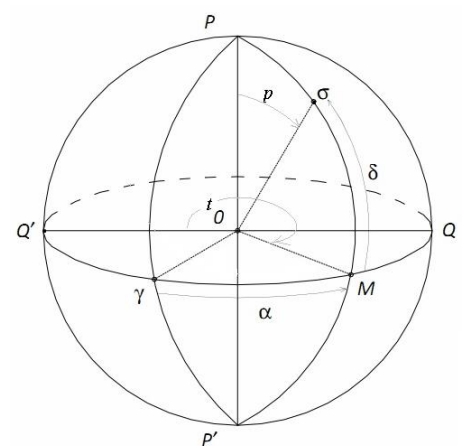
Годинним кутом  $t$  світила називається дуга небесного екватору від верхньої точки небесного екватору (тобто точки перетину небесного екватору з небесним меридіаном) до кола схилення світила за ходом годинникової стрілки, або двохгранний кут між площиною небесного меридіана і колом схилення світила.

Годинні кути відраховують у бік добового обертання небесної сфери, тобто на захід від верхньої точки небесного екватору, в межах від  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$  (в градусній мірі) або від  $0^h$  до  $24^h$  (в годинній мірі).

#### Друга екваторіальна система координат

$\alpha$  - пряме сходження, відраховується по дузі небесного екватора  $Q'Q$  від точки весняного рівнодення  $\gamma$  проти ходу годинникової стрілки до точки  $M$ , що є дугою кола відмін  $P\sigma P'$  і вимірюється в годинній мірі від  $0$  до  $24h$ ;

Полярна відстань  $p$  відраховується уздовж кола відмін від північного полюса світу  $P$  до об'єкту  $\sigma$ , або кут між віссю світу





й напрямком на світило і вимірюється в градусною мірою від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .  
 $\gamma$  - точка весняного рівнодення, перетин небесного екватора і екліптики.

### Хід роботи:

#### 1. Вивчення точок і ліній небесної сфери.

- у верхній частині аркушу паперу формату А-4 посередині стандартним шрифтом висотою 5 мм написати «Небесна сфера», відступивши від напису вниз 2 см, накреслити вертикальну лінію довжиною 12 см. В центрі лінії шрифтом, висотою 2 мм позначити точку  $O$  – центр небесної сфери.
- в точці  $O$  намалювати коло, радіусом 5 см – поверхню небесної сфери.
- на перетині небесної сфери з прямовисною лінією позначити точки зеніта  $Z$  і надіра  $Z'$ .
- в точці  $O$  перпендикулярно лінії  $ZZ'$  намалювати еліпс, довжиною 10 см и шириною 3 см – математичний горизонт, і підписати його по дузі, шрифтом, висотою 2 мм.
- відхиливши від прямовисної лінії праворуч, провести лінію – вісь світу, так, щоб її кінці виходили за поверхню небесної сфери на 1 см. Позначити північний  $P$  і південний  $P'$  полюси.
- підписати поверхню небесного меридіану – великого кола, що проходить через точки  $Z$ ,  $Z'$ ,  $P$ ,  $P'$ .
- у місці перетину небесного меридіану з площиною горизонту позначити полуденну лінію  $SN$ .
- в точці  $O$  перпендикулярно осі світу  $PP'$  провести лінію  $QQ'$ , по якій побудувати еліпс довжиною 10 см и шириною 3 см – небесний екватор, і підписати його по дузі, шрифтом, висотою 2 мм.
- у місці перетину небесного екватору з площиною горизонту позначити точки сходу  $E$  і заходу  $W$ . Лінії  $SN$  і  $EW$  мають перетинатися у точці  $O$ .
- в точці  $O$  встановити лінію під кутом  $23^\circ$  до лінії  $QQ'$ , по якій побудувати еліпс довжиною 10 см и шириною 3 см – екліптику, і підписати його по дузі, шрифтом, висотою 2 мм.
- у місці перетину екліптики з небесним екватором позначити точки весняного  $\mathcal{V}$  (символ сузір'я Овна) і осіннього  $\mathcal{Z}$  (символ сузір'я Ваги) рівнодення.
- у місці перетину екліптики з небесним меридіаном позначити точки літнього  $E$  і зимнього сонцестояння  $E'$ . Лінії  $\mathcal{V}\mathcal{Z}$  і  $EE'$  мають перетинатися у точці  $O$ .

#### 2. Ознайомлення з горизонтною системою координат.

- у середній частині аркушу паперу формату А-4 посередині стандартним шрифтом висотою 5 мм написати «Горизонтна система координат», відступивши від напису вниз 2 см, накреслити вертикальну лінію довжиною 12 см. В центрі лінії шрифтом, висотою 2 мм позначити точку  $O$  – центр небесної сфери.
- в точці  $O$  намалювати коло, радіусом 5 см – поверхню небесної сфери.
- на перетині небесної сфери з прямовисною лінією позначити точки зеніта  $Z$  і надіра  $Z'$ .
- в точці  $O$  перпендикулярно лінії  $ZZ'$  намалювати еліпс, довжиною 10 см и шириною 3 см – математичний горизонт, і підписати його по дузі, шрифтом, висотою 2 мм.
- після вивчення теоретичного матеріалу позначити на схемі горизонтної системи координат 4 небесні світила з координатами:  
 $A_1 = 50^\circ$ ;  $z_1 = 20^\circ$ .  
 $A_2 = 170^\circ$ ;  $z_2 = 120^\circ$ .  
 $A_3 = 260^\circ$ ;  $h_3 = -70^\circ$ .  
 $A_4 = 330^\circ$ ;  $h_4 = 10^\circ$

#### 3. Ознайомлення з першою екваторіальною системою координат.

- у нижній частині аркушу паперу формату А-4 посередині стандартним шрифтом висотою 5 мм написати «Перша екваторіальна система координат», відступивши від напису вниз 2 см, накреслити вертикальну лінію довжиною 12 см. В центрі лінії шрифтом, висотою 2 мм позначити точку  $O$  – центр небесної сфери.
- в точці  $O$  намалювати коло, радіусом 5 см – поверхню небесної сфери.
- на перетині небесної сфери з прямовисною лінією позначити полюси світу  $P$  і  $P'$ .



**Практична робота №2**  
**Перерахування астрономічних координат в геодезичні.**  
**Теоретична частина**

**Зв'язок між небесними та астрономічними системами координат**

В першій та другій екваторіальних системах одна з координат - *схилення світила* ( $\delta$ ) – є однією й тією же координатою.

Другі координати - *часовий кут* ( $t$ ) та *пряме сходження* ( $\alpha$ ) – пов'язані залежністю (рис. 1.6):

$$t_\gamma = t + \alpha,$$

де  $t_\gamma$  - часовий кут точки весняного рівнодення.

Часовий кут точки весняного рівнодення є мірою зіркового часу ( $s$ ) та визначається за *формулою зіркового часу*:

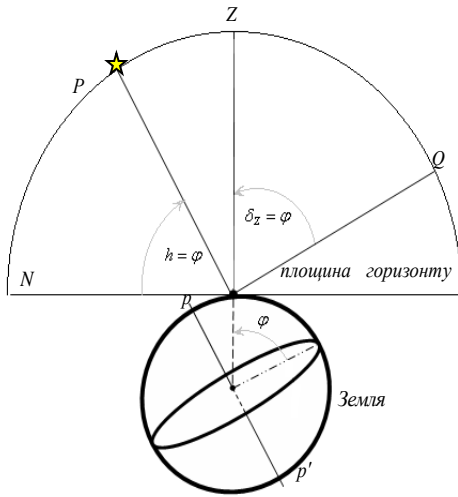
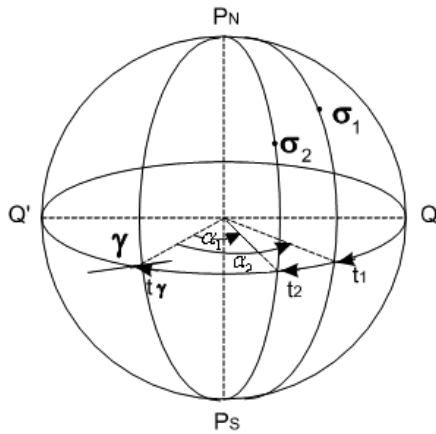
$$s = t_\gamma = t + \alpha.$$

Астрономічна широта точки спостереження дорівнює величині *схилення точки зеніта* ( $\delta_Z$ ) та дорівнює *висоті полюса Світу* ( $h_p$ ) над горизонтом:

$$\varphi = \delta_Z = h_p.$$

*Різниця часових кутів* ( $t_2 - t_1$ ) одного і того ж світила, виміряна в один і той же фізичний момент часу в двох різних точках земної поверхні чисельно *дорівнює різниці географічних довгот* ( $\lambda_2 - \lambda_1$ ) цих точок на земній поверхні

$$t_2 - t_1 = \lambda_2 - \lambda_1.$$



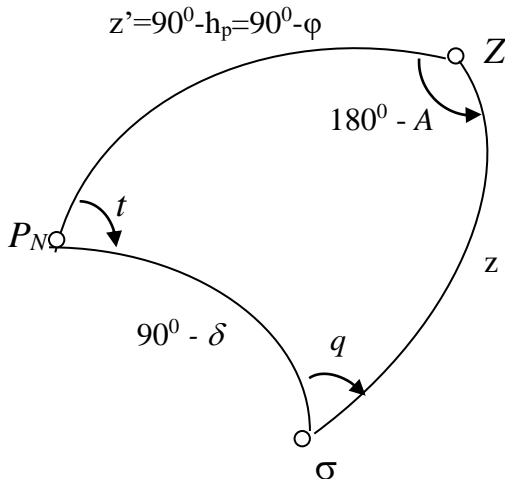
**Рішення паралактичного трикутника. Зв'язок між горизонтною і екваторіальними системами координат.**

Паралактичний трикутник - це сферичний трикутник на небесній сфері з вершинами в точках *північного полюсу* ( $P_N$ ), *зеніту* ( $Z$ ) та *світила* ( $\sigma$ ) (рис. 1.9).

Він створений на небесній сфері перетином трьох великих кіл: небесного меридіана ( $P_N Z$ ), кола схилення ( $P_N \sigma$ ) і вертикала світила ( $Z \sigma$ ).

*Паралактичним кутом* називається кут ( $q$ ) між вертикалом світила ( $Z \sigma$ ) та колом схилення ( $P_N \sigma$ ).

Елементи паралактичного трикутника одночасно відносяться до трьох систем координат: горизонтної ( $A, z$ ), першої екваторіальної ( $\delta, t$ ) та астрономічної ( $\varphi, \lambda$ ). Розв'язання паралактичного



трикутника дає можливість встановити зв'язок між цими системами координат, а саме:

- за формулою косинусів одержимо рівняння зв'язку в *зенітальних способах* астрономічних спостережень:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t;$$

- після перетворення формули синусів та формули п'яти елементів одержимо рівняння зв'язку в *азимутальних способах* астрономічних спостережень:

$$\operatorname{ctg} A = \frac{\sin \varphi \cdot \cos t - \operatorname{tg} \delta \cdot \cos \varphi}{\sin t}.$$

Зв'язок астрономічних довгот з небесними системами координат відбувається через часові кути світила:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = t_2 - t_1.$$

*Азимутальні та зенітальні способи* астрономічних спостережень оснований на визначенні азимутів ( $A$ ) або зенітних відстаней ( $z$ ).

В зенітальних способах *часовий кут* обчислюється за формулою:

$$\cos t = \frac{\cos z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta},$$

де  $\varphi$  - відома астрономічна широта точки спостережень;

$\delta$  - схилення світила, яке вибирається з астрономічних щорічників або астрономічних каталогів;

$z$  - зенітна відстань світила, що вимірюється в точці спостережень.

Під час прямого розв'язання паралактичного трикутника може виникнути невизначеність, яка розкривається введенням допоміжних кутів ( $\chi, \psi$ ):

$$\operatorname{tg} \chi = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos t}; \quad \operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} z \cdot \cos A.$$

З урахуванням цих кутів перетворення екваторіальних координат ( $\delta, t$ ) до горизонтних ( $A, z$ ) відбувається за формулами:

$$\operatorname{tg} A = \frac{\operatorname{tg} t \cdot \cos \chi}{\sin(\varphi - \chi)}; \quad \operatorname{tg} z = \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \chi)}{\cos A}.$$

А перетворення горизонтних координат ( $A, z$ ) до екваторіальних координат ( $\delta, t$ ) - за формулами:

$$\operatorname{tg} t = \operatorname{tg} A \frac{\sin \psi}{\cos(\varphi - \psi)}; \quad \operatorname{tg} \delta = \cos t \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \psi).$$

### Зв'язок між астрономічною та геодезичною системами координат

Астрономічні координати ( $\varphi, \lambda$ ) пов'язані з прямою лінією, а геодезичні ( $B, L$ ) - з нормаллю до поверхні еліпсоїда

Якщо відомі геодезичні ( $B, L$ ) та астрономічні ( $\varphi, \lambda$ ) координати точки, то проєкції відхилення прямої лінії ( $\xi, \eta$ ) обчислюються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \varphi - B \\ \eta &= (\lambda - L) \cos \varphi \end{aligned} \right\},$$

а відхилення прямої лінії ( $u$ ) - за формулою:

$$u = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}.$$

Вплив відхилення прямої лінії ( $u$ ) враховується за формулами:

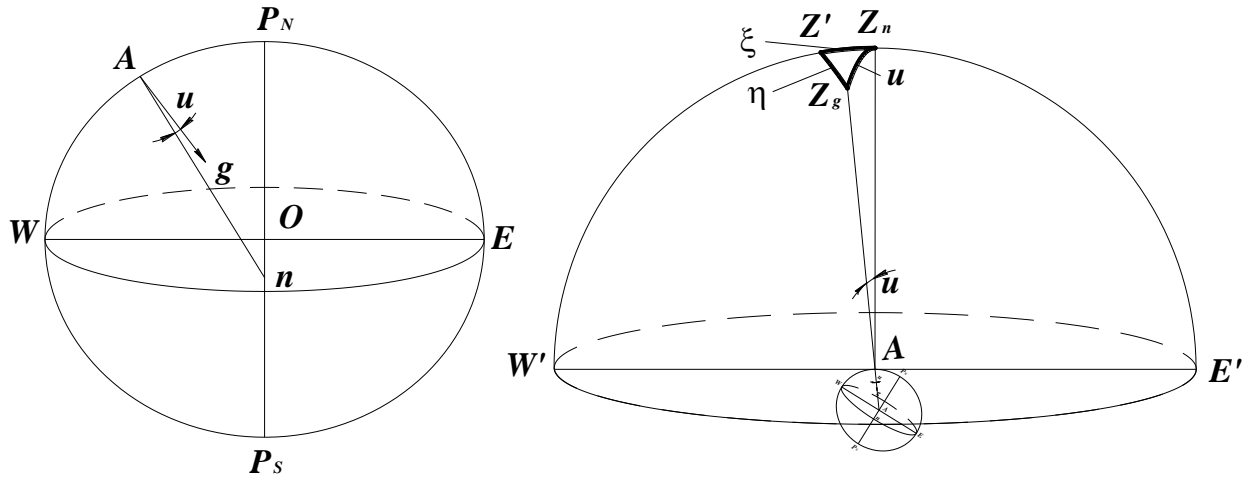
$$\left. \begin{aligned} B &= \varphi - \xi \\ L &= \lambda - \eta \sec \varphi \end{aligned} \right\}$$

або

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= B + \xi \\ \lambda &= L + \eta \cos \varphi \end{aligned} \right\},$$

де  $\xi$  - відхилення прямої лінії в площині меридіана;

$\eta$  - відхилення прямої лінії в площині першого вертикала.



Позначення:  $A$  – точка на поверхні еліпсоїда;

$Ag, AZ_g$  – прямовисна лінія;

$An, AZ_n$  – нормаль до поверхні еліпсоїда;

$u$  - відхилення прямої лінії;

$WAP_NEP_S, W'Z'Z_nE'$  – меридіан еліпсоїда та допоміжної небесної сфери;

$\xi$  – відхилення прямої лінії в площині меридіана;

$\eta$  – відхилення прямої лінії в площині першого вертикала.

### Хід роботи:

1. Обчислити відхилення прямої лінії, якщо відомі геодезичні координати точки спостереження  $B, L$ , та її астрономічні координати  $\varphi, \lambda$ .

№	B			L			$\varphi$			$\lambda$		
	o	'	''	o	'	''	o	'	''	o	'	''
1	52	10	18	34	03	15	52	10	28	34	03	28
2	53	11	20	35	06	17	53	11	29	35	06	30
3	54	12	22	36	09	19	54	12	30	36	09	32
4	55	13	24	37	12	21	55	13	31	37	12	34
5	56	14	26	38	15	23	56	14	32	38	15	36
6	57	15	28	39	18	25	57	15	33	39	18	38
7	56	16	30	40	21	27	56	16	36	40	21	40
8	55	17	32	41	24	29	55	17	39	41	24	42
9	54	18	34	40	27	31	54	18	42	40	27	44
10	53	19	36	39	30	33	53	19	45	39	30	46
11	52	20	38	38	33	35	52	20	48	38	33	48
12	51	21	40	37	36	37	51	21	51	37	36	50
13	50	22	42	36	39	39	50	22	52	36	39	52
14	49	23	44	35	42	41	49	23	53	35	42	54
15	48	24	46	34	45	43	48	24	54	34	45	56

2. Визначити геодезичні координати точки спостереження ( $B, L$ ), якщо відомі її астрономічні координати  $\varphi, \lambda$  та проєкції відхилення прямої лінії в площинах меридіана  $\xi$  і першого вертикала  $\eta$ .

№	$\varphi$			$\lambda$			$\xi$	$\eta$
	°	'	''	°	'	''	''	''
1	47	16	21	34	3	30	9,0	5,2
2	48	18	11	48	18	32	9,5	5,4
3	49	20	14	49	20	34	10,0	5,6
4	50	22	17	50	22	36	10,5	5,8
5	51	24	18	51	24	38	11,0	6,0
6	52	26	19	52	26	40	11,5	6,2
7	53	28	19	53	28	42	12,0	6,4
8	54	30	22	54	30	44	12,5	6,6
9	53	32	19	53	32	46	12,0	6,8
10	52	34	22	52	34	48	11,5	7,0
11	51	36	25	51	36	50	11,0	7,2
12	50	38	28	50	38	52	10,5	7,4
13	49	40	31	49	40	54	10,0	7,6
14	48	42	34	48	42	56	9,5	7,8
15	47	44	37	47	44	58	9,0	8,0

3. Визначити часовий кут світила  $t$  в точці з астрономічною широтою  $\varphi$ , якщо відомі зенітна відстань  $z$ , а схилення світила  $\delta$ .

№	$\varphi$			$z$			$\delta$		
	°	'	''	°	'	''	°	'	''
1	47	16	10	33	44	10,5	15	33	25,5
2	47	18	20	33	45	11,5	15	32	24,5
3	47	20	30	33	46	12,5	15	31	23,5
4	47	22	40	33	47	13,5	15	30	22,5
5	47	24	50	33	48	14,5	15	29	21,5
6	47	26	0	33	49	15,5	15	28	20,5
7	47	28	10	33	50	16,5	15	27	19,5
8	47	30	20	33	51	17,5	15	26	18,5
9	47	32	30	33	52	18,5	15	25	17,5
10	47	34	40	33	53	19,5	15	24	16,5
11	47	36	50	33	54	20,5	15	23	15,5
12	47	38	0	33	55	21,5	15	22	14,5
13	47	40	10	33	56	22,5	15	21	13,5
14	47	42	20	33	57	23,5	15	20	12,5
15	47	44	30	33	58	24,5	15	19	11,5

3.1. Обчислити значення часового кута за формулою:

$$t = \arccos \left( \frac{\cos z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \right)$$

3.2. Переобчислити часовий кут ( $t$ ) в годинниковій мірі ( $^h \text{ } ^m \text{ } ^s$ ).

4. Визначити координати світила в горизонтній небесній системі координат в точці з астрономічною широтою  $\varphi$ , якщо відомі часовий кут  $t$  та схилення  $\delta$  світила.

4.1. Перетворити часовий кут ( $t$ ) з годинної міри в градусну:

4.2. Обчислити зенітну відстань ( $z$ ) за формулою:

$$z = \arccos((\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t))$$

4.3. Обчислити висоту світила ( $h$ ) за формулою:

$$h = 90^\circ - z.$$

4.4. Обчислити азимут світила ( $A$ ) за формулою:

$$A = \operatorname{arctg} \left( \frac{\sin \varphi \cdot \cos t - \operatorname{tg} \delta \cdot \cos \varphi}{\sin t} \right)$$

№	$\varphi$			$\delta$			$t$		
	$^o$	$'$	$''$	$^o$	$'$	$''$	$^h$	$^m$	$^s$
1	47	16	10	15	33	25,5	23	26	18,7
2	47	18	20	15	32	24,5	23	27	20,2
3	47	20	30	15	31	23,5	23	28	21,7
4	47	22	40	15	30	22,5	23	29	23,2
5	47	24	50	15	29	21,5	23	30	24,7
6	47	26	0	15	28	20,5	23	31	26,2
7	47	28	10	15	27	19,5	23	32	27,7
8	47	30	20	15	26	18,5	23	31	29,2
9	47	32	30	15	25	17,5	23	30	30,7
10	47	34	40	15	24	16,5	23	29	32,2
11	47	36	50	15	23	15,5	23	28	33,7
12	47	38	0	15	22	14,5	23	27	35,2
13	47	40	10	15	21	13,5	23	26	36,7
14	47	42	20	15	20	12,5	23	25	38,2
15	47	44	30	15	19	11,5	23	24	39,7

5. Зробити висновки:

---



---



---



---



---



---



---



---



---

**Практична робота №3.  
Системи зоряного та сонячного часу.**

**Теоретична частина**

*Зоряний час* ( $s$ ) визначається як часовий кут точки весняного рівнодення ( $t_\gamma$ ):

$$s = t_\gamma = \alpha + t,$$

де  $\alpha$  - пряме сходження світила;

$t$  - часовий кут світила.

*Істинний сонячний час* ( $m_\odot$ ) визначається як геоцентричний часовий кут істинного Сонця ( $t_\odot$ ) збільшений на 12 годин:

$$m_\odot = t_\odot + 12^h.$$

*Середній сонячний час* ( $m$ ) визначається як геоцентричний часовий кут середнього екваторіального Сонця ( $t_{\odot \text{ екв.}}$ ) плюс 12 годин:

$$m = t_{\odot \text{ екв.}} + 12^h.$$

Різниця істинного сонячного часу  $m_\odot$  та середнього сонячного часу  $m$  називається рівнянням часу і позначається  $\eta$ :

$$\eta = m_\odot - m = t_\odot - t_{\odot \text{ екв.}}$$

На кожен дату в астрономічних щорічниках та в астрономічних календарях наводиться величина  $E$ , що дорівнює:

$$E = \eta + 12^h.$$

З даною величиною зв'язок між середнім сонячним часом і часовим кутом істинного Сонця визначається виразом:

$$m = t_\odot - E.$$

*Місцевим часом* є час на меридіані даного пункту з довготою  $\lambda$ . Різниця місцевих часів двох пунктів ( $A$ ) і ( $B$ ) дорівнює різниці часових кутів світила для допоміжних точок  $\gamma$ ,  $\odot$ ,  $\odot_{\text{екв.}}$  та різниці довгот цих пунктів:

$$\begin{aligned} s_A - s_B &= t_{\gamma A} - t_{\gamma B} = \lambda_A - \lambda_B; \\ m_{\odot A} - m_{\odot B} &= t_{\odot A} - t_{\odot B} = \lambda_A - \lambda_B; \\ m_A - m_B &= t_{\odot \text{ екв.} A} - t_{\odot \text{ екв.} B} = \lambda_A - \lambda_B. \end{aligned}$$

В астрономічній системі координат гринвічський меридіан прийнятий за початковий ( $\lambda = 0^\circ$ ). Місцевий час гринвічського меридіана позначається великими літерами  $S$ ,  $M_\odot$ ,  $M$ . Середній сонячний час на меридіані Гринвіча  $M$  називається Світовим часом і позначається  $UT$  (Universal Time).

З наведених формул випливає:

$$s_A - S = \lambda_A; \quad m_{\odot A} - M_\odot = \lambda_A; \quad m_A - UT = \lambda_A.$$

Системи середнього сонячного часу і зоряного часу засновані на добовому обертанні Землі, але мають різну тривалість зіркових і середніх сонячних діб. Різниця обумовлена тим, що Земля, крім добового руху навколо осі, здійснює річний рух навколо Сонця. Зіркова та середня сонячна доба відрізняються на  $3^m 56.555^s$ . Тому

$$\begin{aligned} s &= (1+\mu)m; \\ m &= (1-\nu)s, \end{aligned}$$

де  $\mu = 1/365.2422 = 0.0027379093$  – масштабний коефіцієнт переходу від середніх сонячних одиниць часу до зоряних;

$\nu = 1/366.2422 = 0.0027304336$  – масштабний коефіцієнт переходу від зоряних одиниць часу до середніх сонячних.

В момент середньої півночі (нижньої кульмінації середнього екваторіального Сонця) часовий кут Сонця дорівнює  $12^h$ . Тому зоряний час в цей момент обчислюється за формулою:



$$s_0 = \alpha_{\odot \text{ сеп.екв.}} + 12^h, \text{ або } s_0 = S_0 \pm \lambda\mu,$$

де  $S_0$  - зоряний час опівночі на меридіані Гринвіча, який вказується на кожний день року у астрономічному щорічнику.

Перехід від зоряного часу до середнього та навпаки відбувається за формулами:

$$m = (s-s_0)(1-v),$$

$$s = s_0 + m(1+\lambda\mu).$$

Для обчислення зоряного часу  $S_0$  на любую дату використовують формулу:

$$S_0 = 6^h 41^m 50.55^s + 236.555^s d + 0.093104^s T^2 - 6.27^s \cdot 10^{-6} T^3.$$

де  $d$  - число діб, що пройшло від епохи 2000/01/01, до гринвічської півночі потрібної дати,  
 $d = \text{JDN} - 2451545$

$$T - \text{проміжок часу } d, \text{ у юліанських століттях по } 36525 \text{ діб, тобто } T = \frac{\text{JDN} - 2451545}{36525}$$

де епоха  $1.01.2000 = \text{JD}2000.0 = 2451545$ .

Для визначення юліанської дати по календарній даті необхідно:

а) визначення коефіцієнта  $a$

$$a = \frac{14 - NM}{12}$$

б) визначення коефіцієнта  $y$

$$y = NY + 4800 - a$$

в) визначення коефіцієнта  $m$

$$m = NM + 12a - 3$$

$$\text{JDN} = \text{ND} + \left( \frac{153m + 2}{5} \right) + 365y + \frac{y}{4} - 32083$$

де  $NY$  – номер поточного року;

$NM$  – номер поточного місяця;

$ND$  – номер дня у місяці;

$\text{JDN}$  – номер юліанського дня.

Обчислення повної юліанської дати проводиться по формулі:

$$\text{JD} = \text{JDN} + \frac{th-12}{24} + \frac{tm}{1440} + \frac{ts}{86400}$$

де  $th, tm, ts$  – час проведення спостереження.

### Хід роботи:

1. Визначити зоряний час  $s$ , якщо відомі пряме сходження  $\alpha$  та часовий кут  $t$  світила.

1.1. Перетворити часовий кут  $t$  з градусної міри в годинну:

1.2. Обчислити зоряний час  $s$  за формулою:

$$s = \alpha + t$$

$$s = \underline{\hspace{10em}}$$

N	$\alpha$			$t$			N	$\alpha$			$t$		
	h	m	s	o	'	''		h	m	s	o	'	''
1	1	27	58	30	46	11	9	1	35	42	34	38	35
2	1	28	56	31	45	14	10	1	36	40	33	37	38
3	1	29	54	32	44	17	11	1	37	38	32	36	35
4	1	30	52	33	43	20	12	1	38	36	31	35	32
5	1	31	50	34	42	23	13	1	39	34	30	34	29
6	1	32	48	35	41	26	14	1	40	32	31	33	26
7	1	33	46	36	40	29	15	1	41	30	32	32	23
8	1	34	44	35	39	32	16	1	42	28	33	31	20

2. Визначити зоряний час  $s$ , якщо відомий середній сонячний час  $m$ .

2.1. Перетворити середній сонячний час в години:

2.2. Обчислити  $s$  за формулою :

$$s = (1 + \mu)m$$

$$s = \underline{\hspace{2cm}}$$

2.3. Перетворити зоряний час у години, хвилини й секунди.

$$s = \underline{\hspace{2cm}}$$

N	m			N	m		
	h	m	s		h	m	s
1	10	45	8	9	11	37	40
2	10	44	12	10	11	36	37
3	10	43	16	11	11	35	34
4	10	42	20	12	11	34	31
5	10	41	24	13	11	33	28
6	10	40	28	14	11	32	25
7	10	39	32	15	11	31	22
8	10	38	36	16	11	30	19

3. Визначити середній сонячний час  $m$ , якщо відомий зоряний час  $s$ .

3.1. Перетворити зоряний час в години:

3.2. Обчислити середній сонячний час  $m$  за формулою:

$$m = (1 - \nu) s$$

$$m = \underline{\hspace{2cm}}$$

3.3. Перетворити середній сонячний час у години, хвилини й секунди.

N	s			N	s		
	h	m	s		h	m	s
1	9	45	8	9	10	37	40
2	9	44	12	10	10	36	37
3	9	43	16	11	10	35	34
4	9	42	20	12	10	34	31
5	9	41	24	13	10	33	28
6	9	40	28	14	10	32	25
7	9	39	32	15	10	31	22
8	9	38	36	16	10	30	19

4. Визначте момент місцевого зоряного часу  $s$ , що відповідає моменту місцевого середнього сонячного часу  $m$  на пункті з довготою  $\lambda$ . Дата спостереження визначається за варіантом « № » квітня 2015 року, де № - номер варіанта.

N	$\lambda$			m			N	$\lambda$			m		
	o	'	''	h	m	s		o	'	''	h	m	s
1	31	26	3	10	17	13	9	36	18	27	10	25	37
2	33	25	6	10	18	16	10	35	17	30	10	23	40
3	34	24	9	10	19	19	11	34	16	27	10	21	36
4	35	23	12	10	20	22	12	33	15	24	10	19	32
5	36	22	15	10	21	25	13	32	14	21	10	17	28
6	37	21	18	10	22	28	14	33	13	18	10	15	24
7	38	20	21	10	23	31	15	34	12	15	10	13	20
8	37	19	24	10	24	34	16	35	11	12	10	11	16

4.1. Виписати з «Астрономічного календаря на 2015 рік», витяг з якого наведений в додатку 1, середній сонячний час ( $M_{BK}$ ) на момент верхньої кульмінації Сонця для Вашої дати.

4.2. Визначити середній сонячний час ( $M_{HK}$ ) на момент нижньої кульмінації Сонця

$$M_{HK} = M_{BK} \pm 12^h$$

$$M_{HK} = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.3. Обчислити зоряний час опівночі на меридіані Гринвіча ( $S_0$ ) за формулою:

$$S_0 = (1 + \mu) \cdot M_{HK}$$

$$S_0 = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.4. Обчислити Всесвітній час ( $M$ ) для моменту місцевого середнього сонячного часу  $m$  на пункті з довготою  $\lambda$  за формулою:

$$M = m - \lambda$$

$$M = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.5. Обчислити зоряний час на меридіані Гринвіча  $S$ , що відповідає Всесвітньому часу  $M$ , за формулою):

$$S = S_0 + (1 + \mu) \cdot M$$

$$S = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.6. Обчислити місцевий зоряний час  $s$  на пункті з довготою  $\lambda$  за формулою:

$$s = S + \lambda$$

$$s = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.7. Провести контроль за формулою:

$$s = S_0 - \lambda \cdot \mu + m \cdot (1 + \mu)$$

$$s = \underline{\hspace{2cm}}$$

5. По номеру варіанту обчислити зоряний час на  $5+N^h$   $10+N^m$   $20+N^s$  на дату  $2+N/$   $N/2000+N$  року.

5.1. визначення коефіцієнта  $a$   $a = \frac{14 - NM}{12}$   $a = \underline{\hspace{2cm}};$

5.2. визначення коефіцієнта  $y$   $y = NY + 4800 - a$   $y = \underline{\hspace{2cm}};$

5.3. визначення коефіцієнта  $m$   $m = NM + 12a - 3$   $m = \underline{\hspace{2cm}};$

5.4. визначити номер юліанського дня  $JDN$   $JDN = \underline{\hspace{2cm}};$

5.5. обчислити повну юліанську дату  $JD$   $JD = \underline{\hspace{2cm}};$

5.6. обчислити число днів, що пройшло від епохи 2000/01/01  $d = \underline{\hspace{2cm}};$

5.7. обчислити проміжок часу  $d$ , у юліанських століттях  $T = \underline{\hspace{2cm}};$

5.8. визначити зоряний час на дату  $S_0$   $S_0 = \underline{\hspace{2cm}};$

6. Зробити висновки:

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Додаток А.

Сонце. Квітень 2015 року ( $\varphi=56^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $UT$ )

Дата	Момент верхньої кульмінації Сонця	Висота Сонця над горизонтом	Пряме сходження Сонця, $\alpha$	Схилення Сонця, $\delta$
1	11 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	+38°	00 <sup>h</sup> 39,5 <sup>m</sup>	+04°15'
2	11 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	+38°	00 <sup>h</sup> 43,1 <sup>m</sup>	+04°38'
3	11 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	+39°	00 <sup>h</sup> 46,8 <sup>m</sup>	+05°01'
4	11 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	+39°	00 <sup>h</sup> 50,4 <sup>m</sup>	+05°24'
5	11 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	+40°	00 <sup>h</sup> 54,1 <sup>m</sup>	+05°47'
6	11 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	+40°	00 <sup>h</sup> 57,7 <sup>m</sup>	+06°10'
7	11 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	+40°	01 <sup>h</sup> 01,4 <sup>m</sup>	+06°33'
8	11 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	+41°	01 <sup>h</sup> 05,1 <sup>m</sup>	+06°55'
9	11 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	+41°	01 <sup>h</sup> 08,7 <sup>m</sup>	+07°18'
10	11 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	+41°	01 <sup>h</sup> 12,4 <sup>m</sup>	+07°40'
11	11 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	+42°	01 <sup>h</sup> 16,1 <sup>m</sup>	+08°02'
12	11 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	+42°	01 <sup>h</sup> 19,7 <sup>m</sup>	+08°24'
13	11 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	+43°	01 <sup>h</sup> 23,4 <sup>m</sup>	+08°46'
14	11 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	+43°	01 <sup>h</sup> 27,1 <sup>m</sup>	+09°08'
15	11 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	+43°	01 <sup>h</sup> 30,8 <sup>m</sup>	+09°30'
16	10 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	+44°	01 <sup>h</sup> 34,5 <sup>m</sup>	+09°51'
17	10 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	+44°	01 <sup>h</sup> 38,2 <sup>m</sup>	+10°12'
18	10 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	+44°	01 <sup>h</sup> 41,9 <sup>m</sup>	+10°34'
19	10 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	+45°	01 <sup>h</sup> 45,6 <sup>m</sup>	+10°55'
20	10 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	+45°	01 <sup>h</sup> 49,3 <sup>m</sup>	+11°15'
21	10 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	+45°	01 <sup>h</sup> 53,1 <sup>m</sup>	+11°36'
22	10 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	+46°	01 <sup>h</sup> 56,8 <sup>m</sup>	+11°56'
23	10 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	+46°	02 <sup>h</sup> 00,6 <sup>m</sup>	+12°17'
24	10 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	+46°	02 <sup>h</sup> 04,3 <sup>m</sup>	+12°37'
25	10 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	+47°	02 <sup>h</sup> 08,1 <sup>m</sup>	+12°57'
26	10 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	+47°	02 <sup>h</sup> 11,8 <sup>m</sup>	+13°16'
27	10 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	+47°	02 <sup>h</sup> 15,6 <sup>m</sup>	+13°35'
28	10 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	+48°	02 <sup>h</sup> 19,4 <sup>m</sup>	+13°55'
29	10 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	+48°	02 <sup>h</sup> 23,2 <sup>m</sup>	+14°14'
30	10 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	+48°	02 <sup>h</sup> 27,0 <sup>m</sup>	+14°32'

*Примітка:* ефемериди Сонця ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) надані для епохи 2000.0.

## Практична робота №4. Визначення азимуту за спостереженнями Сонця Теоретична частина

Застосовувані в астрономії інструменти дозволяють вимірювати кути в горизонтальній і вертикальній площинах і фіксувати моменти проходження світил через вертикаль і альмукантарати. Серед цих інструментів: універсальний інструмент, зеніт-телескоп, вертикальний круг, переносний пасажний інструмент, зенітна фотографічна труба, морський та авіаційний секстант і ін. Для вимірювання часу служать кварцовий годинник і морські хронометри. Для визначення довготи використовується апаратура для прийому радіосигналів часу.

В геодезичній астрономії застосовуються способи визначення місцевого часу  $s$  (що рівносильно визначенню поправки годинника  $u$ ), широти  $\varphi$ , довготи  $\lambda$  і азимута  $A$  напрямків на земний предмет по вимірюваннях  $z$  світила.

З паралактичного трикутника  $P_N Z \sigma$  ( $P_N$  - полюс світу,  $Z$  - зеніт,  $\sigma$  - місце світила;

впливає, що

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

де

$$t = T + u - \alpha.$$

$a$  - азимут,

$z$  - зенітна відстань,

$\alpha$  - пряме сходження,

$\delta$  - схилення,

$t$  - часовий кут небесного світила,

$u$  - поправка годинника;

$s$  - зоряний час,

$T$  - показання годинника в момент спостережень (декретний або поясний час спостереження).

Знайшовши в астрономічному каталозі  $\alpha$  і  $\delta$  світила і вимірявши його зенітну відстань  $z$  у момент  $T$ , можна обчислити поправку годинника  $u$ , якщо відома  $\varphi$ , або обчислити  $\varphi$ , якщо відома  $u$ .

Східна довгота місця спостереження  $\lambda$  пов'язана зі всесвітнім часом  $S$  і місцевим  $s$  співвідношенням:

$$\lambda = s - S = T + u - S$$

$u$  - визначається одним з викладених вище способів,

$S$  - шляхом прийому радіосигналів часу, що транслюються протягом доби багатьма радіостанціями.

Найбільш поширений спосіб заснований на вимірюванні універсальним інструментом горизонтального кута між напрямками на Полярну і земний предмет  $M$  і обчисленні азимута Полярної в момент спостереження  $s$ . Для цього служить співвідношення:

$$\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{ctg} \delta \sec \varphi \sin t}{1 - \operatorname{ctg} \delta \operatorname{tg} \varphi \cos t}$$

де  $t = s - \alpha$ .

В геодезичній практиці часто застосовується спосіб визначення азимута, заснований на спостереженнях моментів проходження зірок з великими  $z$  ( $50^\circ - 70^\circ$ ) поблизу меридіана.

### Хід роботи:

**Завдання 1.** Визначити азимут на місцевий предмет по часовому куту Сонця, якщо спостереження проводилися на дату 2.06.2016+3N. Час спостережень  $T=6^h03+N^m57-N^s$ . Кут між місцевим предметом і Сонцем складав  $\beta=130+N^\circ21'30''$ . Спостереження проводилися у м. Одеса.

*Фрагмент астрономічного календаря для м. Одеса (Сонце)*

Дата – календарні дати 2016 р, JD – юліанські дні на відповідні календарні дати;  $t_B, t_K, t_Z$  – час сходу, верхньої кульмінації та заходу Сонця для Одеси ( $\varphi=46^\circ28'38''$ ,  $\lambda=30^\circ43'57''$ );  $A$  – азимут

Сонця від точки півдня (Sud);  $\alpha$  – пряме сходження,  $\delta$  – схилення,  $\eta$  – рівняння часу,  $S_0$  – Гринвічський зоряний час;  $d$  – видимий діаметр Сонця)

Джерело: [http://www.galactic.name/library/odessa\\_astronomical\\_calendar\\_2016.php#3](http://www.galactic.name/library/odessa_astronomical_calendar_2016.php#3)

СОЛНЦЕ. Июль 2016.

Дата J.D. 2457	Для Одесси				В Оч земного времени									
	$t_s$	$t_e$	$t_r$	$A$	$\alpha$	$\delta$			$\eta$	$S_0$			$d$	
	ч м	ч м	ч м	°	ч м с	°	'	"	м с	ч м с	ч м с	'		
1	540.5	5 08	12 55	20 42	124	4 37	26.5		+22 04	45	-2 12	16 39	38	31.5
2	541.5	5 07	12 55	20 43	124	4 41	32.5		+22 12	37	-2 02	16 43	35	31.5
3	542.5	5 07	12 55	20 44	125	4 45	38.9		+22 20	05	-1 52	16 47	31	31.5
4	543.5	5 06	12 55	20 44	125	4 49	45.7		+22 27	11	-1 42	16 51	28	31.5
5	544.5	5 06	12 56	20 45	125	4 53	52.8		+22 33	53	-1 32	16 55	24	31.5
6	545.5	5 05	12 56	20 46	125	4 58	00.3		+22 40	11	-1 21	16 59	21	31.5
7	546.5	5 05	12 56	20 47	125	5 02	08.0		+22 46	05	-1 10	17 03	18	31.5
8	547.5	5 05	12 56	20 47	125	5 06	16.0		+22 51	36	-0 58	17 07	14	31.5
9	548.5	5 04	12 56	20 48	126	5 10	24.3		+22 56	42	-0 46	17 11	11	31.5
10	549.5	5 04	12 56	20 49	126	5 14	32.8		+23 01	24	-0 34	17 15	07	31.5
11	550.5	5 04	12 57	20 49	126	5 18	41.5		+23 05	42	-0 22	17 19	04	31.5
12	551.5	5 04	12 57	20 50	126	5 22	50.4		+23 09	35	-0 10	17 23	00	31.5
13	552.5	5 04	12 57	20 51	126	5 26	59.4		+23 13	04	+0 02	17 26	57	31.5
14	553.5	5 04	12 57	20 51	126	5 31	08.5		+23 16	08	+0 15	17 30	53	31.5
15	554.5	5 04	12 58	20 51	126	5 35	17.8		+23 18	47	+0 28	17 34	50	31.5
16	555.5	5 04	12 58	20 52	126	5 39	27.2		+23 21	02	+0 41	17 38	47	31.5
17	556.5	5 04	12 58	20 52	126	5 43	36.6		+23 22	52	+0 53	17 42	43	31.5
18	557.5	5 04	12 58	20 53	126	5 47	46.1		+23 24	18	+1 06	17 46	40	31.5
19	558.5	5 04	12 58	20 53	126	5 51	55.6		+23 25	18	+1 19	17 50	36	31.5
20	559.5	5 04	12 59	20 53	126	5 56	05.2		+23 25	54	+1 32	17 54	33	31.5
21	560.5	5 04	12 59	20 53	126	6 00	14.7		+23 26	05	+1 45	17 58	29	31.5
22	561.5	5 04	12 59	20 54	126	6 04	24.2		+23 25	51	+1 58	18 02	26	31.5
23	562.5	5 05	12 59	20 54	126	6 08	33.6		+23 25	12	+2 11	18 06	22	31.5
24	563.5	5 05	12 59	20 54	126	6 12	43.0		+23 24	09	+2 24	18 10	19	31.5
25	564.5	5 05	13 00	20 54	126	6 16	52.2		+23 22	41	+2 37	18 14	16	31.5
26	565.5	5 06	13 00	20 54	126	6 21	01.4		+23 20	48	+2 49	18 18	12	31.5
27	566.5	5 06	13 00	20 54	126	6 25	10.4		+23 18	30	+3 02	18 22	09	31.5
28	567.5	5 07	13 00	20 54	126	6 29	19.3		+23 15	48	+3 14	18 26	05	31.5
29	568.5	5 07	13 01	20 54	126	6 33	28.0		+23 12	42	+3 26	18 30	02	31.5
30	569.5	5 08	13 01	20 54	126	6 37	36.5		+23 09	11	+3 38	18 33	58	31.5

СОЛНЦЕ. Июль 2016.

Дата J.D. 2457	Для Одесси				В Оч земного времени									
	$t_s$	$t_e$	$t_r$	$A$	$\alpha$	$\delta$			$\eta$	$S_0$			$d$	
	ч м	ч м	ч м	°	ч м с	°	'	"	м с	ч м с	ч м с	'		
1	570.5	5 08	13 01	20 54	126	6 41	44.8		+23 05	15	+3 50	18 37	55	31.5
2	571.5	5 09	13 01	20 53	126	6 45	52.8		+23 00	56	+4 01	18 41	51	31.5
3	572.5	5 09	13 01	20 53	126	6 50	00.6		+22 56	12	+4 13	18 45	48	31.5
4	573.5	5 10	13 01	20 53	125	6 54	08.1		+22 51	05	+4 23	18 49	45	31.5
5	574.5	5 11	13 02	20 52	125	6 58	15.2		+22 45	33	+4 34	18 53	41	31.5
6	575.5	5 12	13 02	20 52	125	7 02	22.1		+22 39	38	+4 44	18 57	38	31.5
7	576.5	5 12	13 02	20 52	125	7 06	28.5		+22 33	20	+4 54	19 01	34	31.5
8	577.5	5 13	13 02	20 51	125	7 10	34.5		+22 26	38	+5 04	19 05	31	31.5
9	578.5	5 14	13 02	20 51	125	7 14	40.2		+22 19	32	+5 13	19 09	27	31.5
10	579.5	5 15	13 02	20 50	124	7 18	45.3		+22 12	04	+5 21	19 13	24	31.5
11	580.5	5 16	13 03	20 50	124	7 22	50.1		+22 04	13	+5 30	19 17	20	31.5
12	581.5	5 17	13 03	20 49	124	7 26	54.3		+21 55	59	+5 37	19 21	17	31.5
13	582.5	5 17	13 03	20 48	124	7 30	58.1		+21 47	22	+5 45	19 25	14	31.5
14	583.5	5 18	13 03	20 47	123	7 35	01.4		+21 38	23	+5 51	19 29	10	31.5
15	584.5	5 19	13 03	20 47	123	7 39	04.2		+21 29	02	+5 58	19 33	07	31.5
16	585.5	5 20	13 03	20 46	123	7 43	06.5		+21 19	19	+6 03	19 37	03	31.5
17	586.5	5 21	13 03	20 45	123	7 47	08.2		+21 09	15	+6 08	19 41	00	31.5
18	587.5	5 22	13 03	20 44	122	7 51	09.4		+20 58	49	+6 13	19 44	56	31.5
19	588.5	5 23	13 03	20 43	122	7 55	10.1		+20 48	01	+6 17	19 48	53	31.5
20	589.5	5 24	13 03	20 42	122	7 59	10.1		+20 36	53	+6 21	19 52	49	31.5
21	590.5	5 25	13 03	20 41	121	8 03	09.7		+20 25	24	+6 24	19 56	46	31.5
22	591.5	5 27	13 04	20 40	121	8 07	08.6		+20 13	34	+6 26	20 00	43	31.5
23	592.5	5 28	13 04	20 39	121	8 11	07.0		+20 01	25	+6 28	20 04	39	31.5
24	593.5	5 29	13 04	20 38	121	8 15	04.8		+19 48	55	+6 29	20 08	36	31.5
25	594.5	5 30	13 04	20 37	120	8 19	02.1		+19 36	05	+6 30	20 12	32	31.5
26	595.5	5 31	13 04	20 36	120	8 22	58.8		+19 22	55	+6 30	20 16	29	31.5
27	596.5	5 32	13 04	20 35	119	8 26	54.9		+19 09	27	+6 30	20 20	25	31.5
28	597.5	5 33	13 04	20 34	119	8 30	50.4		+18 55	39	+6 28	20 24	22	31.5
29	598.5	5 34	13 04	20 33	119	8 34	45.3		+18 41	32	+6 27	20 28	18	31.5
30	599.5	5 36	13 03	20 31	118	8 38	39.7		+18 27	07	+6 25	20 32	15	31.5
31	600.5	5 37	13 03	20 30	118	8 42	33.5		+18 12	24	+6 22	20 36	12	31.5

1. Визначити всесвітній час моменту проведення вимірювання  $M$

$$M = T - \Delta T$$

$$M = \frac{h}{\quad} \frac{m}{\quad} \frac{s}{\quad}$$

де  $M$  – Гринвічський час спостереження,

$T$  – декретний час проведення спостереження;

$\Delta T$  – поправка за часовий пояс ( $\Delta T = 3^h$  для літнього часу,  $\Delta T = 2^h$  для дат, коли літній час не застосовується);

2. Визначити часові змінні для значення рівняння часу  $\eta$  в годинній мірі на дату, що передує вимірюванню ( $i-1$ ), та на дату вимірювання ( $i$ )

$$\Delta \eta_{i-1} = \frac{(\eta_{i-1} - \eta_i)}{24} \quad \Delta \eta_{i-1} = \frac{\quad}{\quad} \text{ s}$$

$$\Delta \eta_i = \frac{(\eta_i - \eta_{i+1})}{24} \quad \Delta \eta_i = \frac{\quad}{\quad} \text{ s}$$

де  $\eta_i$  – значення рівняння часу із таблиці на дату спостереження;

$\eta_{i-1}$  – значення рівняння часу із таблиці на дату, попередню від дати спостереження;

$\eta_{i+1}$  – значення рівняння часу із таблиці на дату, наступну за датою спостереження;

3. Визначити часову змінну для значення схилення Сонця  $\delta$  в кутовій мірі

$$\Delta \delta_{i-1} = \frac{(\delta_{i-1} - \delta_i)}{24} \quad \Delta \delta_{i-1} = \frac{\quad}{\quad} \text{ ''}$$

$$\Delta \delta_i = \frac{(\delta_i - \delta_{i+1})}{24} \quad \Delta \delta_i = \frac{\quad}{\quad} \text{ ''}$$

де  $\delta_i$  – значення схилення Сонця із таблиці на дату спостереження;

4. Обчислити рівняння часу  $E$  для моменту спостереження  $M$

$$E = 12^h + E_0 = 12^h + \left( \eta_i + M \frac{\Delta \eta_{i-1} + \Delta \eta_i}{2} \right)$$

$$E = \underline{\quad} \text{ h } \underline{\quad} \text{ m } \underline{\quad} \text{ s}$$

5. Обчислити схилення Сонця  $\delta$  для моменту спостереження  $M$

$$\delta = \delta_i + M \frac{\Delta\delta_{i-1} + \Delta\delta_i}{2}$$

$$\delta = \underline{\quad} \text{ }^\circ \underline{\quad} \text{ ' } \underline{\quad} \text{ ''}$$

6. Обчислити часовий кут Сонця  $t$  на момент спостереження  $M$

$$t = M + E + \lambda$$

$$t = \underline{\quad} \text{ h } \underline{\quad} \text{ m } \underline{\quad} \text{ s}$$

$$t = \underline{\quad} \text{ }^\circ \underline{\quad} \text{ ' } \underline{\quad} \text{ ''}$$

де  $t$  – часовий кут центра Сонця;

$M$  – Гринвічський час спостереження,

$E$  – рівняння часу,

$\lambda$  – довгота точки стояння, виражена у годинній формі.

7. Отримані величини часового кута  $t$  в кутовій мірі, підставити у формулу, і знайти азимут Сонця  $a_\odot$

$$\text{ctg } a = \sin \varphi \cdot \text{ctg } t - \text{tg } \delta \cdot \cos \varphi \cdot \text{cosec } t$$

$$a_\odot = \underline{\quad} \text{ }^\circ \underline{\quad} \text{ ' } \underline{\quad} \text{ ''}$$

8. Знайти дійсний азимут лінії на місцевий предмет по формулі

$$A = a_\odot + \beta$$

$$A = \underline{\quad} \text{ }^\circ \underline{\quad} \text{ ' } \underline{\quad} \text{ ''}$$

**Завдання 2.** Визначити азимут на місцевий предмет по висоті Сонця, якщо визначений вертикальний кут на середину Сонця склав  $v = h' = 18^\circ 07' + N' 30''$ . Спостереження проводилися на дату  $3.06.2016 + 3N$ . Час спостережень  $T = 7^h 11 + N^m 49 - N^s$ . Кут  $\beta$  між Сонцем і місцевим предметом складав  $95 + N^\circ 55' 00''$ . Спостереження проводилися у м. Одеса.

1. Визначити всесвітній час моменту проведення вимірювання  $M$

$$M = T - \Delta T$$

$$M = \underline{\quad} \text{ h } \underline{\quad} \text{ m } \underline{\quad} \text{ s}$$

2. Визначити зенітну відстань Сонця  $z_\odot$

$$z_\odot = 90^\circ - h'_\odot$$

$$z_\odot = \underline{\quad} \text{ }^\circ \underline{\quad} \text{ ' } \underline{\quad} \text{ ''}$$

3. Визначити величину середньої рефракції для зенітної відстані  $z_\odot$ .

$$\rho = 58,2'' \text{ tg } z$$

$$\rho = \underline{\quad} \text{ }^\circ \underline{\quad} \text{ ' } \underline{\quad} \text{ ''}$$

4. Визначити виправлене за рефракцію значення висоти Сонця

$$h = h'_\odot - \rho$$

$$h = \underline{\quad} \text{ }^\circ \underline{\quad} \text{ ' } \underline{\quad} \text{ ''}$$

5. Визначити часову змінну для значення схилення Сонця  $\delta$  в кутовій мірі

$$\Delta\delta_{i-1} = \frac{(\delta_{i-1} - \delta_i)}{24} \quad \Delta\delta_{i-1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ''}$$

$$\Delta\delta_i = \frac{(\delta_i - \delta_{i+1})}{24} \quad \Delta\delta_i = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ''}$$

де  $\delta_i$  – значення схилення Сонця із таблиці на дату спостереження;

5. Обчислити схилення Сонця  $\delta$  для моменту спостереження  $M$

$$\delta = \delta_i + M \frac{\Delta\delta_{i-1} + \Delta\delta_i}{2}$$

$$\delta = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \underline{\hspace{1cm}}' \underline{\hspace{1cm}}''$$

6. Знайти азимут Сонця  $a_\odot$  за формулою

$$\cos a = \sec \varphi \cdot \sec h \cdot \sin \delta - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} h$$

$$a_\odot = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \underline{\hspace{1cm}}' \underline{\hspace{1cm}}''$$

7. Знайти дійсний азимут лінії на місцевий предмет по формулі

$$A = a_\odot + \beta$$

$$A = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \underline{\hspace{1cm}}' \underline{\hspace{1cm}}''$$

Зробити висновки по роботі

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



**Практична робота №5**  
**Величини, що впливають на положення зірок**  
**Теоретична частина**

Явище заломлення променів світла при проходженні кордону розділу двох середовищ з різними коефіцієнтами заломлення називається **рефракцією**. Всім знайома картина як би зламаного чайної ложечки у склянці з водою. Точно так же переломлюються світлові промені, потрапляючи з безповітряного космічного простору в атмосферу Землі, так як коефіцієнт заломлення повітря відрізняється від 1. Тільки переломлення це відбувається не різко, а поступово, так як атмосфера Землі не має чіткої межі, а щільність її плавно зменшується з висотою. Таким чином, астрономічної рефракцією називається **відхилення світлового променя в атмосфері від свого первісного напрямку по законах заломлення**. Відхилення завжди відбувається в сторону зеніту, тобто рефракція завжди **піднімає** зірку над горизонтом. Тому видима зенітна відстань  $z_v$  завжди менше істинної  $z_0$ , а спостережувана висота  $h_v$  завжди більше істинної  $h_0$ , на величину кута заломлення  $\rho$ , яку ми надалі для стислості будемо називати рефракцією:

$$z_c = z_0 - \rho \quad \text{або} \quad h_c = h_0 + \rho$$

В зеніті рефракція дорівнює нулю ( $\rho=0$ ), потім зростає лінійно зі збільшенням  $\tan z$

$$\rho = 58,2'' \tan z$$

аж до  $z = 70^\circ$ . На великих зенітних відстанях починає позначатися сферичність атмосфери Землі і рефракція збільшується повільніше. На горизонті  $\rho_c = 35'$ . Величина рефракції не є постійною і залежить від температури і щільності повітря і деяких інших чинників. Тому має сенс говорити лише про середню рефракції, для визначення якої користуються таблицею.

Елонгуючи світила в момент нижньої

кульмінації повинні мати висоту спостереження  $h_c \geq 0$ , або  $h_0 + \rho \geq 0$ . Підставляючи вираз для істинної висоти в момент нижньої кульмінації  $h_0 = \delta - (90^\circ - \varphi)$  отримуємо умову елонгації світила:

$$\delta \geq 90^\circ - \varphi - \rho$$

Умова несходження світила: в момент верхньої кульмінації світила повинні мати висоту спостереження  $h_c \leq 0$ , або  $h_0 + \rho \leq 0$ . Підставляючи вираз для істинної висоти в момент верхньої кульмінації  $h_0 = \delta + (90^\circ - \varphi)$  отримуємо остаточно:

$$\delta_n \leq - (90^\circ - \varphi) - \rho$$

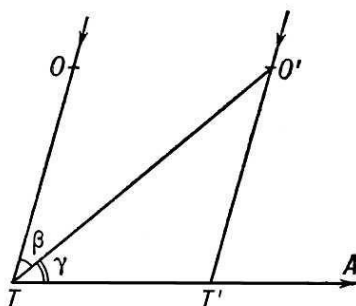
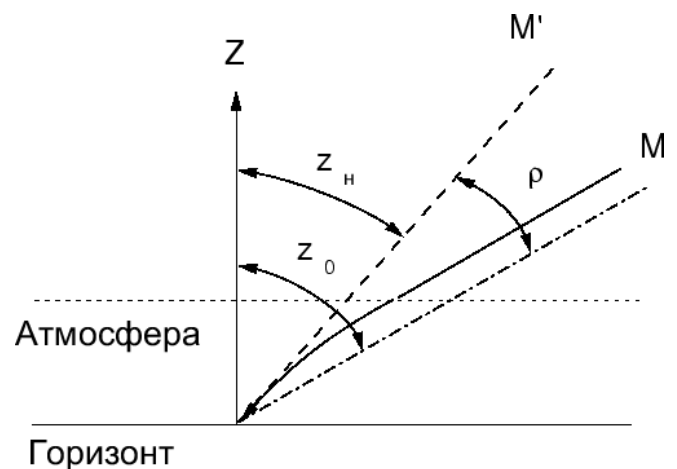
Відповідно, решта зірок, схилення яких укладені в межах від  $-(90^\circ - \varphi) - \rho$  до  $90^\circ - \varphi - \rho$  і сходять, і заходять.

$$\delta_n \leq \delta_z \leq \delta_e$$

Видимі положення зірок на небесній сфері відрізняються від їх істинних положень внаслідок аберації світла, відбувається в результаті того, що спостерігач і небесне світило рухаються один відносно одного. Так, при спостереженнях зірок приймається в розрахунок рух спостерігача внаслідок обертання Землі навколо Сонця (річна аберація) і внаслідок її обертання навколо власної осі (добова аберація). Щоб зображення світила попало на хрест ниток, необхідно повернути трубу в бік руху спостерігача на кут  $\angle OTO' = \beta$ , причому  $\beta$ , виражене в секундах дуги, визначається формулою

$$\beta = (206\,264,8'' \cdot u / c) \sin g,$$

де  $u$  - швидкість руху спостерігача,  
 $c$  - швидкість світла і



$g = \beta + \gamma$  - кут між напрямками на світило і апекс.

**Хід роботи:**

1. Визначити, які світила для широти  $\varphi = 47^\circ 20' + N' 11,6 + N''$  будуть сходити на  $z_c = 45^\circ + N' N''$  і заходити.

1.1. Визначити величину рефракції для зенітної відстані  $45^\circ$ .

$$\rho = 58,2'' \operatorname{tg} z \quad \rho = \underline{\hspace{2cm}}''$$

1.2. Визначити значення сходження для елонгуючих світил на широті  $\varphi$

$$\delta_e \geq 90^\circ - \varphi - \rho \quad \delta_e = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \underline{\hspace{1cm}}' \underline{\hspace{1cm}}''$$

1.3. Визначити значення сходження для світил, що не сходять.

$$\delta_n \leq \varphi - 90^\circ - \rho \quad \delta_n = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \underline{\hspace{1cm}}' \underline{\hspace{1cm}}''$$

1.4. Зробити висновки: \_\_\_\_\_

2. На широті  $\varphi = 46^\circ 31' + N' 03,8 + N''$  в момент верхньої кульмінації виміряна зенітна відстань зірки  $z_c = 51^\circ 02' + N' 11 + N''$ .

2.1. Визначити значення рефракції для даної зенітної відстані.

$$\rho = 58,2'' \operatorname{tg} z \quad \rho = \underline{\hspace{2cm}}' \underline{\hspace{2cm}}''$$

2.2. Визначити теоретичне (дійсне) значення зенітної відстані

$$z_0 = z_c + \rho \quad z_0 = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \underline{\hspace{1cm}}' \underline{\hspace{1cm}}''$$

2.3. Визначити дійсне схилення світила

$$\delta_0 = z_0 - \varphi \quad \delta_0 = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \underline{\hspace{1cm}}' \underline{\hspace{1cm}}''$$

3. Визначити значення річної аберації світила  $\beta_p$ , якщо лінійна швидкість руху Землі навколо Сонця складає  $u_p = 29,8$  км/с, кут, між напрямком на світило і на апекс  $g = 80^\circ + N'$ ,  $c = 299792,5$  км/с.

$$\beta = (206\,264,8'' \cdot u_p / c) \cdot \sin g \quad \beta = \underline{\hspace{2cm}}''$$

4. Визначити значення добової аберації світила  $\beta_\delta$ , якщо спостереження ведеться з точки, з широтою  $\varphi = 48^\circ 30' + N' 01,2 + N''$ , кут між напрямком на світило і на апекс  $g = 70^\circ + N'$ . Радіус Землі прийняти за  $R = 6378,1$  км,

4.1. Обчислити радіус паралелі на широті  $\varphi$

$$r = R \cdot \cos \varphi \quad r = \underline{\hspace{2cm}} \text{ км}$$

4.2. Обчислити період обертання Землі навколо своєї осі в секундах  $T$

$$T = 23^h 56^m 04^s \quad T = \underline{\hspace{2cm}}^s$$

4.3. Обчислити кутову швидкість обертання землі  $\omega$ , якщо  $\pi = 3,14159265$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \omega = \underline{\hspace{2cm}} \quad (c^{-1})$$

4.4. Обчислити лінійну швидкість руху Землі навколо своєї осі на широті  $\varphi = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \underline{\hspace{1cm}}' \underline{\hspace{1cm}}''$

$$u_\varphi = \omega \cdot r \quad u_\varphi = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (км/с)}$$

4.5. Обчислити значення добової аберації для точки із заданою широтою

$$\beta = (206\,264,8'' \cdot u_\varphi / c) \cdot \sin g \quad \beta = \underline{\hspace{2cm}}''$$

5. Зробити висновки: \_\_\_\_\_

**Практична робота № 6.**  
**Перетворення супутникових координат**  
**Теоретична частина**

**Зв'язок просторових прямокутних та геодезичних координат.**

Перехід виконується в два етапи. На першому етапі за формулами переходимо від геодезичних до просторових прямокутних координат  $(BLH)_p \rightarrow (XYZ)_p$ .

Просторові прямокутні координати  $(X, Y, Z)$  обчислюються за геодезичними координатами  $(B, L, H)$  за формулами:

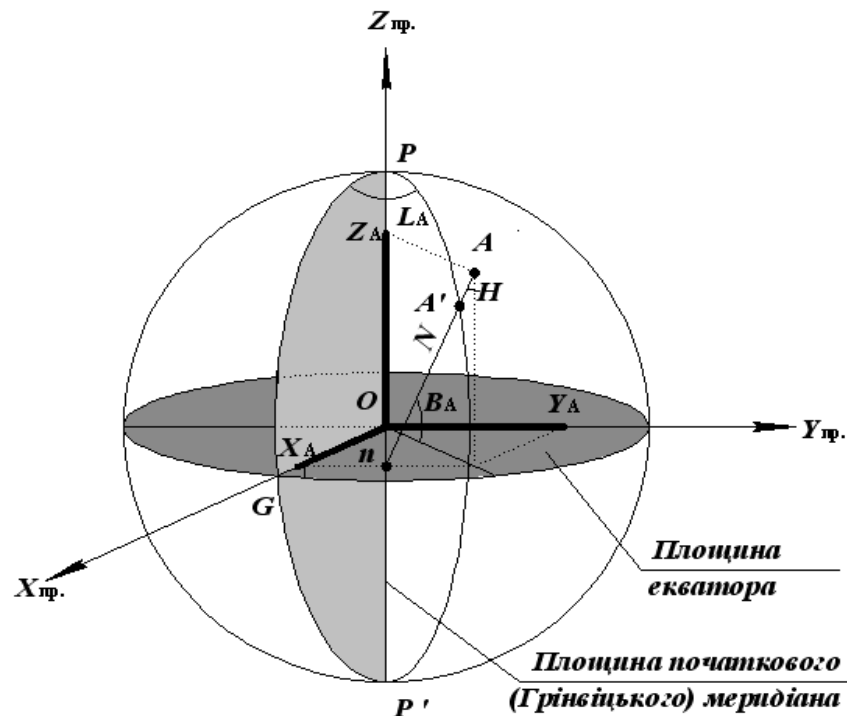
$$X = (N + H) \cos B \cos L; \quad Y = (N + H) \cos B \sin L;$$

$$Z = (N(1 - e^2) + H) \sin B,$$

де  $N$  – радіус кривизни першого вертикалу;

$B, L, H$  – геодезичні широта, довгота та висота пункту;

$e^2 = 0,006693422$  – квадрат першого ексцентриситету меридіанного еліпса;



Зв'язок просторових прямокутних та геодезичних координат.

Радіус кривизни першого вертикала обчислюється за формулою:

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

де  $a=6378245$  м – розмір великої півосі референц-еліпсоїда Красовського;

Контроль обчислення координат  $(X, Y, Z)$  виконується за формулою:

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2(1 + e'^2)} = a + \frac{H}{W},$$

де  $e'^2 = 0,006738525$  – квадрат другого ексцентриситету меридіанного еліпса.

Зворотній перехід виконується за формулами:

$$\operatorname{tg} L = \frac{Y}{X}; \quad \operatorname{tg} B_0 = \frac{Z(1 + e'^2)}{D};$$

$$H = D \sec B' - N = Z \cos ec B' - N(1 - e^2).$$

де:

$$D = X \sec L = Y \cos ecL; \quad tgB' = \frac{Z + Ne^2 \sin B}{D};$$

## 2. Перехід від референтної системи координат до геоцентричної.

На другому етапі переходимо від референтної системи просторових прямокутних координат до геоцентричної системи просторових прямокутних координат  $(XYZ)_P \rightarrow (XYZ)_G$  з урахуванням кутових ( $\omega$ ,  $\psi$ ,  $\nu$ ), лінійних ( $\delta_X$ ,  $\delta_Y$ ,  $\delta_Z$ ) та масштабного ( $m$ ) параметрів перетворення за формулами:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_G = (1+m) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \psi & -\omega \\ -\psi & 1 & \nu \\ \omega & -\nu & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_P + \begin{pmatrix} \delta_X \\ \delta_Y \\ \delta_Z \end{pmatrix}.$$

Зворотній перехід виконується за формулами:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_P = (1-m) \cdot \begin{pmatrix} 1 & -\psi & \omega \\ \psi & 1 & -\nu \\ -\omega & \nu & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_G - \begin{pmatrix} \delta_X \\ \delta_Y \\ \delta_Z \end{pmatrix}.$$

Нагадування про порядок рішення матриці 3x3:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11} \cdot a_{22} \cdot a_{33} + a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{31} + a_{13} \cdot a_{21} \cdot a_{32} - a_{13} \cdot a_{22} \cdot a_{31} - a_{11} \cdot a_{23} \cdot a_{32} - a_{12} \cdot a_{21} \cdot a_{33}$$

Вихідні дані для виконання перетворення координат ( $n$  – номер варіанта,  $m = 2 \cdot 10^{-7}$  – масштабний параметр):

$$\begin{aligned} L &= 39^\circ 01' 15'' + n \cdot 1' 15'' \\ B &= 42^\circ 52' 30'' - n \cdot 15'' \\ H &= 280 \text{ м} + n \cdot 10 \text{ м}. \end{aligned}$$

лінійні параметри зміщення початку координат:

$$\delta_X = +n \cdot 8 \text{ м}; \quad \delta_Y = -n \cdot 5 \text{ м}; \quad \delta_Z = +n \cdot 2 \text{ м},$$

кутові параметри повернення осей координат:

$$\omega = -n \cdot 0,6''; \quad \psi = +n \cdot 0,3''; \quad \nu = -n \cdot 0,4''.$$

### Хід роботи:

1. Визначення географічних координат точки:

$$L = 39^\circ 01' 15'' + n \cdot 1' 15'' = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}''$$

$$B = 42^\circ 52' 30'' - n \cdot 15'' = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'';$$

$$H = 280 \text{ м} + n \cdot 10 \text{ м} = \underline{\quad} \text{ м}.$$

2. Визначення першої функції геодезичної широти

$$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B} = \underline{\quad}$$

3. Визначення радіусу кривизни першого вертикалу

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

4. Визначення референтних координат точки:

$$X_P = (N + H) \cos B \cos L = \underline{\quad} \text{ м}.$$

$$Y_p = (N + H) \cos B \sin L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}$$

$$Z_p = (N(1 - e^2) + H) \sin B = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}$$

5. Контроль обчислених координат ( $X, Y, Z$ ) за формулою:

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2(1 + e'^2)} = a + \frac{H}{W} \Leftrightarrow \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

6. Визначення лінійних параметрів зміщення початку геоцентричних координат:

$$\delta_x = + n \cdot 8 \text{ м} = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$\delta_y = - n \cdot 5 \text{ м} = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$\delta_z = + n \cdot 2 \text{ м} = \underline{\hspace{2cm}};$$

7. Визначення кутових параметрів повернення осей координат:

$$\omega = - n \cdot 0,6'' = \underline{\hspace{2cm}}'';$$

$$\psi = + n \cdot 0,3'' = \underline{\hspace{2cm}}'';$$

$$\nu = - n \cdot 0,4'' = \underline{\hspace{2cm}}'';$$

8. Обчислення геоцентричних координат:

$$X = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м.}$$

$$Y = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м.}$$

$$Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м.}$$

9. Висновки по роботі: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Практична робота № 7

### Оцінка точності вимірювань геодезичною супутниковою апаратурою

#### Теоретична частина:

Оцінка точність вимірювань геодезичною супутниковою апаратурою виконується по замкнутих фігурах (полігонах). Допустима нев'язка прирістків координат обчислюється за такою формулою:

$$W_{f\text{ доп}} = \sqrt{(m_{1\text{ доп}})^2 + (m_{2\text{ доп}})^2 + (m_{3\text{ доп}})^2}$$

де -  $m_{i\text{ доп}}$  - допустимі значення похибок по сторонах трикутника.

Фактична нев'язка прирістків координат розраховується за формулою:

$$W_f = \sqrt{(W_{\Delta X})^2 + (W_{\Delta Y})^2 + (W_{\Delta Z})^2}$$

де -  $W_{\Delta X}$ ;  $W_{\Delta Y}$ ;  $W_{\Delta Z}$  – нев'язки по відповідних осях координат.

Для замкнутого трикутника:

$$W_{\Delta X} = \delta_{x1} + \delta_{x2} + \delta_{x3}$$

де –  $\delta_x$  – відхилення вимірюваної координати від вихідної.

При цьому допустима похибка вимірювання довжини визначається за формулами:

$$\text{- для ліній довжиною менше 5 км} \quad m_{\text{доп}} = (5 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot D) \text{ мм}$$

$$\text{- для ліній довжиною більше 5 км} \quad m_{\text{доп}} = (5 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D) \text{ мм}$$

де  $D$  - вимірювана відстань в м.

Програми обробки супутникових спостережень поділяються за методом обробки супутникових даних: обчислення окремих ліній; багатоточкові рішення; багатосеансні.

Метод обробки окремих ліній забезпечує контроль і локалізацію неякісних ліній і точок. Неякісні точки можуть бути локалізовані за оцінкою точності ліній, що сходяться в цій точці. Інший метод контролю, що дозволяють локалізувати неякісні лінії, є контроль по замкнутих геометричних побудовах. Якщо сума прирістків координат по замкнутому векторному ходу відповідає необхідної точності, то лінії, що входять в ці побудови, є якісним.

#### Хід роботи:

1. У таблиці дані координати пунктів триангуляції, які були вихідними пунктами для проведення GPS спостережень.

№	$X_{\text{вих}}$	$Y_{\text{вих}}$	$Z_{\text{вих}}$
1	466692,0589	543586,5124	145,0000
2	456000,7219	566167,2086	144,0000
3	478294,7591	573368,2552	144,8000

Для індивідуалізації завдання необхідно провести перерахунок координат з урахуванням номера варіанта  $N$ .

$$X_{\text{вим}} = X_{\text{вих}} + \sin(N/10)$$

$$Y_{\text{вим}} = Y_{\text{вих}} + (N/20)$$

$$Z_{\text{вим}} = Z_{\text{вих}} + (N/30)$$

де  $N$  – номер вашого варіанту.

Переобчислені з точністю до чотирьох знаків після коми відповідно вашого варіанту координати занести в таблицю.

№	$X_{\text{вим}}$	$Y_{\text{вим}}$	$Z_{\text{вим}}$
1			
2			
3			

2. Обчислити відстані між пунктами та допустимі похибки їх вимірювання, для чого вирішити ОГЗ по вихідних координатах пунктів

Значення	Сторона 1-2	Сторона 2-3	Сторона 3-1
$X_n$			
$X_{n+1}$			
$\Delta X = X_{n+1} - X_n$			
$Y_n$			
$Y_{n+1}$			
$\Delta Y = Y_{n+1} - Y_n$			
$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$			
$m_{\text{дон}}$			

3. Провести оцінку точності вимірювань базисних ліній геодезичною супутниковою апаратурою.

Значення	1	2	3	Нев'язки, $W_{\Delta}$
$X_{\text{вих}}$				
$X_{\text{вим}}$				
$\delta X$				
$Y_{\text{вих}}$				
$Y_{\text{вим}}$				
$\delta Y$				
$Z_{\text{вих}}$				
$Z_{\text{вим}}$				
$\delta Z$				
$W_f$				
$W_{f\text{дон}}$				
$W_f \leq W_{f\text{дон}}$				

Висновки:

---



---

## Практична робота № 8. Визначення коефіцієнтів переходу між системами координат

### Хід роботи:

1. Дані геодезичні координати вихідних пунктів триангуляції в системі координат WGS-84 і умовній системі координат

Координати	WGS-84			УСК-42		
	Первоць	Дружне	Третьяки	Первоць	Дружне	Третьяки
B	42°02+N'52,53"	42°33+N'57,82"	42°30+N'43.69"	42°02+N'52,7559"	42°33+N'58,0163"	42°30+N'43,8981"
L	39°01+N'18,89"	39°13+N'37,29"	39°20+N'05,88"	39°01+N'24,3817"	39°13+N'42,7752"	39°20+N'11,3736"
H	164,008+0.1N м	227,005+0.1N м	262,003+0.1N м	112,516+0.1N м	214,002+0.1N м	247,614+0.1N м

За допомогою програми «Compute Seven Params» визначити коефіцієнти переходу з системи координат WGS-84. в умовну систему координат на еліпсоїді Красовського (1942).

1. Обчислити значення координат точок в системі WGS-84 та в системі УСК-42 та занести їх у таблицю.

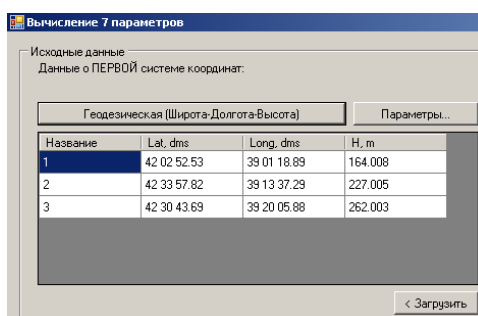
Координати	WGS-84			УСК-42		
	Первоць	Дружне	Третьяки	Первоць	Дружне	Третьяки
B						
L						
H						

2. Утворити текстові файли *PP-9BГC.txt* та *PP-9УСК.txt*. В текстові файли внести відповідні отримані координати з таблиці. Порядок утворення текстового файлу:

- окремі дані (номер точки, координата, висота) відділяються комами;
- хвилини і секунди для кутових величин відділяються пробілами;
- десяті, соті і т. і. долі величин відділяються точками;
- кожна нова точка починається з номера із нової строки.

**ПРИКЛАД:**

```
1,42 02 52.53,39 01 18.89,164.008
2,42 33 57.82,39 13 37.29,227.005
3,42 30 43.69,39 20 05.88,262.003
```



3. Запустити програму «Compute Seven Params».
4. Обрати «Данные о первой системе координат» - Геодезична (широта, довгота і висота).
5. Натиснути кнопку «Параметри», обрати еліпсоїд.
6. За допомогою кнопки «Загрузить» завантажити у вікно дані з файлу *PP-9BГC.txt*.
7. У сусідньому вікні діяти так само, завантажити дані з файлу *PP-9УСК.txt*
8. Обчислити коефіцієнти переходу з системи координат WGS-84. в умовну систему координат на еліпсоїді Красовського (1942) за допомогою кнопки «Вычислить».



9. Результати визначення коефіцієнтів переходу записати в таблицю.

Визначені коефіцієнти переходу	
$\Delta X$ (м)	
$\Delta Y$ (м)	
$\Delta Z$ (м)	
$\omega_X$ (")	
$\omega_Y$ (")	
$\omega_Z$ (")	
ScaleFactor	

10. Обчислити координати точок в умовній системі координат за їх координатами в системі координат WGS-84 за допомогою програми «PhGeoCalc». Вихідні дані взяти з таблиці:

№	WGS 84					
	Широта (B)			Довгота (L)		
	°	'	"	°	'	"
1	43	13+N	37,425	39	01+N	13,048
2	43	13+N	41,127	39	01+N	15,045
3	43	13+N	45,723	39	01+N	16,106
4	43	13+N	51,238	39	01+N	15,423
5	43	13+N	46,632	39	01+N	14,894
6	43	13+N	42,662	39	01+N	13,952
7	43	13+N	40,151	39	01+N	12,787

12. У програмі «PhGeoCalc» створити новий проект, та вручну ввести геодезичні координати поворотних точок полігону в системі WGS 84.

13. Перетворити координати поворотних точок полігону в умовну систему координат на еліпсоїді Красовського.

14. Отримані координати записати в таблицю.

15. За допомогою програми «Compute Seven Params» визначити коефіцієнти переходу з системи координат WGS-84. в умовну систему координат на еліпсоїді Красовського (1942).

№	WGS 84						№	УМОВНА СИСТЕМА					
	Широта (B)			Довгота (L)				Широта (B)			Довгота (L)		
1							1						
2							2						
3							3						
4							4						
5							5						
6							6						
7							7						

16. Результати визначення коефіцієнтів переходу записати в таблицю.

Визначені коефіцієнти переходу	
$\Delta X$ (м)	
$\Delta Y$ (м)	
$\Delta Z$ (м)	
$\omega_X$ (")	
$\omega_Y$ (")	
$\omega_Z$ (")	
ScaleFactor	

Висновки: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Практична робота № 9

### Складання проєкту супутникової мережі

#### Теоретична частина:

#### 1. Відомості про топографо-геодезичну забезпеченість району робіт

Розробка розрахунково-графічної роботи повинна здійснюватися на основі аналізу зібраних та систематизованих відомостей про раніше виконані топографо-геодезичні на цій території. При необхідності виконують польове обстеження району робіт.

У процесі збору матеріалів геодезичної вивченості повинні бути отримані такі відомості:

- 1) матеріали обстеження існуючих пунктів геодезичних мереж;
- 2) виписки з каталогів координат і висот пунктів, які можуть бути використані в якості вихідних в проєктованій мережі;
- 3) абриси і картки закладки центрів існуючих пунктів;
- 4) витяги зі звітів раніше виконаних робіт, особливо що стосується оцінки точності;
- 5) детальна довідка про системи координат і висот, прийнятих на об'єкті робіт.

Також проводиться збір та систематизація картографічних (топографічних) матеріалів відповідного масштабу. На карті **виділяються червоним кольором** розташування всіх існуючих пунктів державної геодезичної мережі, які передбачається включити або прив'язати до проєктованій мережі. При цьому необхідно оцінити ці пункти стосовно до нормальних умов спостережень для супутникових вимірювань.

При обстеженні на місцевості збирають відомості, які необхідні для складання проєкту, для чого відвідуються метеостанції, адміністративні, дорожні та інші організації. Також поряд з цим оглядають пункти триангуляції та репери нівелювання попередніх років для виявлення степені їх збереженості і придатності до використання.

#### Підготовчі роботи

#### Оцінка планового картографічного матеріалу.

#### 1. Вивчить планово-картографічний матеріал і надайте його характеристики:

1) характеристики вихідного картографічного матеріалу:

- Назва карти \_\_\_\_\_
- Код карти \_\_\_\_\_
- масштаб: \_\_\_\_\_;
- номенклатура аркушу \_\_\_\_\_;
- межі рамок трапеції:

$V_{\text{півн}}$  \_\_\_\_\_;

$V_{\text{півд}}$  \_\_\_\_\_;

$L_{\text{схід}}$  \_\_\_\_\_;

$L_{\text{зах}}$  \_\_\_\_\_;

- перетин рельєфу \_\_\_\_\_;
- площа ділянки району робіт \_\_\_\_\_.

2) пункти триангуляції, полігонометрії чи трилатерації які були виявлені при обстеженні у межах, або не ближче 1 км. від межі ділянки.

**Характеристики опорних пунктів.**

№ пункту	Назва пункту (існуюча або надана)	Координати, (° ' ")		Координати, (м)		Висота, (м)
		B	L	X	Y	
1	2	3	4	5	6	7

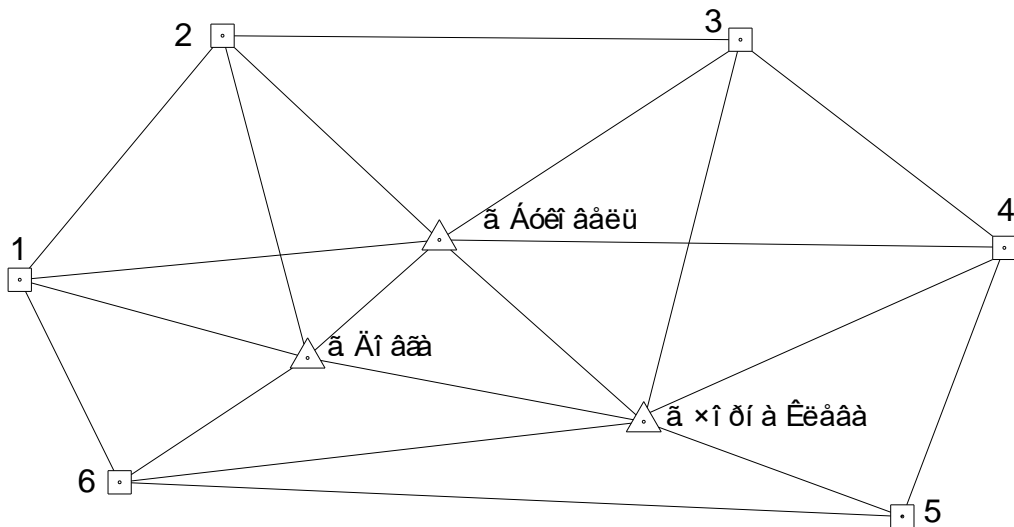
Реальна придатність пунктів до використання визначається в результаті рекогностування. Підсумком аналізу топографо-геодезичної забезпеченості робіт є визначення трьох вихідних пунктів державної геодезичної мережі які будуть використанні для проектування мережі.

**2. Проектні роботи**

**Теоретична частина:**

Проект мережі створюють на топографічних картах масштабів 1:25000 – 1:100000. На карті виділяють всі наявні пункти державної геодезичної мережі аналізуючи їх розташування приймають проектне рішення щодо методу побудови супутникової мережі. Застосовують два найпоширеніших методи побудови супутникових мереж:

- радіальний;
- мережевий метод (метод замкнутих геометричних фігур) – вимірювання виконуються на кожному пункті або на кожній лінії мережі.



- △ - референтний пункт (база);
- - пункт, що підлягає визначенню (ровер).

Вибір схеми побудови проекрованої мережі та методів супутникових вимірів залежить від призначення мережі та її точності. Вибір проводиться з урахуванням технічного завдання і матеріалів геодезичної вивченості.

Критерій точності і надійності вимірів підвищується, якщо організуються мережні вимірювання. На практиці знайшли застосування дві технології мережних побудов: однорангова і багаторангова мережі. На схемі представлена багаторангова мережа з трьома референтними точками.

Щільність пунктів створюваної мережі встановлюється у відповідності з діючими інструкціями. У процесі проектування рекомендується дотримуватися рівномірного розміщення опорних пунктів по всьому району робіт. Щільність геодезичної основи повинна бути доведена в містах, селищах та інших населених пунктах і на промислових майданчиках не менше ніж до **чотирьох пунктів на 1 км<sup>2</sup>** у забудованій частині та **одного пункту на 1 км<sup>2</sup>** на незабудованих територіях.

При виборі місця розташування проектового пункту для супутникових вимірів необхідне дотримання наступних вимог:

- 1) забезпечення нормальних умов спостережень;
- 2) відсутність поблизу пункту (до 1-2 км) потужних джерел електромагнітного випромінювання (теле- і радіопередавачі, трансформатори, ЛЕП, ретранслятори і т. п.);
- 3) більша частина горизонту навколо пункту не повинна мати перешкод вище 15°;
- 4) забезпечення довготривалої схоронності центру;
- 5) забезпечення зручного під'їзду, доступу до пункту в будь-який час незалежно від погодних умов.

Остаточне рішення про вибір місця розташування пункту приймається після виконання польового рекогносрування. Кожному пункту що визначається в мережі присвоюється індивідуальний номер (назва) та код.

Вибір вихідних пунктів (референтних станцій) проводиться відповідно до вимог які забезпечують нормальні умови спостережень. Проектування геометричних зв'язків між пунктами проводиться відповідно до обраної схеми побудови. При побудові у вигляді замкнутих геометричних фігур кожен пункт має визначатися, як мінімум, **двома незалежно виміряними векторами**. Висячі вектори не допускаються. У витягнутих мережах для контролю вимірювань рекомендується проектувати зв'язку між кінцевими пунктами мережі.

При проектуванні для контролю необхідно передбачити повторні вимірювання визначених векторів. Повторні вимірювання рекомендується виконувати в інший час (вікно спостережень). Для контролю рекомендується додатково проектувати вектори між вихідними пунктами, що дозволить оцінити надійність вихідної основи.

Згідно вимог Інструкції (ГКНТ -2.04-02-98) GPS-мережа має відповідати таким основним вимогам:

- мережа повинна складатися із замкнутих петель або інших замкнутих геометричних фігур;
- повинна бути здійснена прив'язка мережі не менш як до трьох пунктів державної геодезичної мережі, на яких обов'язково виконуються GPS-спостереження;
- GPS-мережа повинна бути прив'язана не менше ніж до чотирьох нівелірних знаків з використанням безпосередніх методів прив'язки.

Під час проектування мережі розрахунку підлягають такі величини як мінімальна кількість сесій та кількість векторів, що вимірюються в одній сесії.

Мінімальна кількість сесій спостережень  $N$  для мережі, якщо кількість пунктів  $S$  і використовується  $R$  приймачів для кількості повторних вимірів  $M$  визначається для першої технології (спостереження на кожному пункті) за формулою:

$$N = \frac{M \cdot S}{R}$$

Під час створення великих мереж доцільно використовувати максимально можливу кількість приймачів. Це зумовлює зменшення числа сесій, а отже приводить до скорочення часу на



1	2	3	4	5	6	7

Проект супутникової геодезичної мережі згущення повинен бути представлений на топографічній карті М 1:25000.

### 3. Оформлення результатів проектування.

Вимоги до оформлення проекту на карті. Референтні пункти позначають рівносторонніми трикутниками червоного кольору зі стороною 3 мм. Пункти що визначаються позначаються квадратами зеленого кольору зі стороною 2 мм. Вектори між вихідними пунктами проводять червоним кольором. Вектори між референтними та пунктами що визначаються проводять зеленим кольором. Всі пункти повинні бути підписані.

Висновки:

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Практична робота №10

### Планування сесій GPS – спостережень в програмі MStar

#### Теоретична частина

GPS – зйомка значно відрізняється від класичних методів знімання в зв'язку з її незалежності від погоди та від умов прямої видимості між пунктами. Тому планування GPS – зйомки, процесу спостережень і обробки інші. На практиці визначення оптимального вікна спостережень, коли число видимих супутників максимально і вплив іоносфери мінімальний, виконується за допомогою спеціальних програмних модулів, що входять до складу програмного забезпечення для постобробки результатів вимірів.

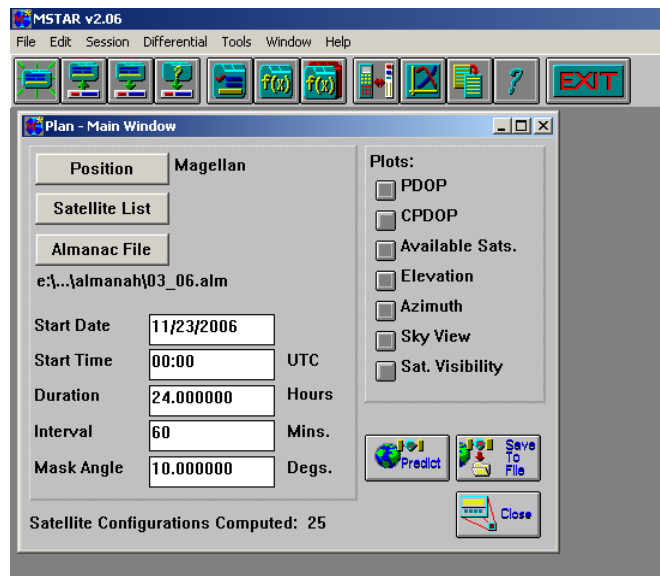
Оптимальним вікном наявності супутників є інтервал, коли одночасно можуть спостерігатися максимальне число супутників. Оптимальне вікно знаходять, аналізуючи схеми азимут-висоти супутника або відповідні таблиці. Необхідно вибирати такі інтервали для спостережень, щоби при максимальному числі видимих супутників діапазони зміни їх азимутів та висот були найбільшими.

Обчислення азимута та висоти підйому супутника над горизонтом ґрунтоване на проекції одиничного вектору, направленого від пункту спостереження до миттєвого положення супутника, на ортогональні осі локальної системи координат. Більш наглядне уявлення про видимості супутників дає діаграма "азимут - висота", або рисунок небесної сфери. На цьому рисунку показуються шляхи (траєкторії) супутників як функцій висоти (над горизонтом) та азимута.

Виконання умови видимості супутників недостатньо - супутники повинні бути добре розташовані по небу с геометричної точки зору. Це означає наявність (в ідеальному випадку) хоча би одного супутника в кожному з чотирьох квадрантів полярної системи координат. При статичній зйомці погану геометрію мережі супутників і навіть відсутність четвертого супутника часто можна компенсувати більш тривалими спостереженнями. Переміщення супутників по відношенню друг до друга поліпшує геометрію та, відповідно, точність визначення положення пункту.

Мірою геометрії супутників є фактор GDOP або PDOP (ГПТ – Геометричне Погіршення Точності). Зазвичай, значення ГПТ менше шести, вважаються хорошими, а більше шести вважаються надзвичайно високими.

Для планування GPS-спостережень використовується альманах - набір даних, що використовуються для прогнозування орбіт супутників на протязі деякого періоду часу (близько місяця).



Вікно завдання вихідних даних для планування GPS-спостережень.

Альманах можна загрузити безпосередньо з GPS-приймача, якщо ним проводились роботи на протязі останнього місяця. Якщо роботи проводились понад місяць назад, то необхідно відновити інформацію альманаху, проведенням нетривалих (до 10-12 хвилин) GPS-спостережень в абсолютному режимі. Можна одержати дані альманаху з Internet зі сторінок, на яких розміщують свої дані перманентні станції. Також важливим параметром під час планування GPS-спостережень (особливо в умовах міської забудови) є кут маски - мінімальна висота підйому супутника над горизонтом. Якщо



висота підйому супутника над горизонтом менше кута маски, то інформація від цього супутника не буде враховуватися в процесі обробки результатів спостережень. За допомогою кута маски можна враховувати висоту перешкод, що розташовані поблизу пункту спостережень.

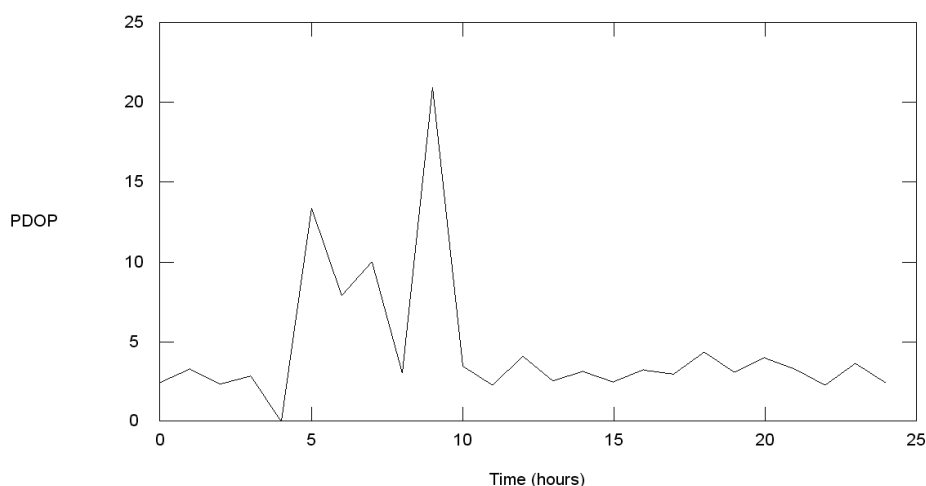
**Вихідні дані для виконання планування GPS-спостережень:**

1. Альманах на 15.11.2011 г. (загружається кнопкою Almanac File).
2. Дата планування 20.11.2011 г. (Start Date).
3. Геодезичні координати пункту планування  $B = 49^{\circ}00'00''$ ,  
 $L = 37^{\circ}00'00''$

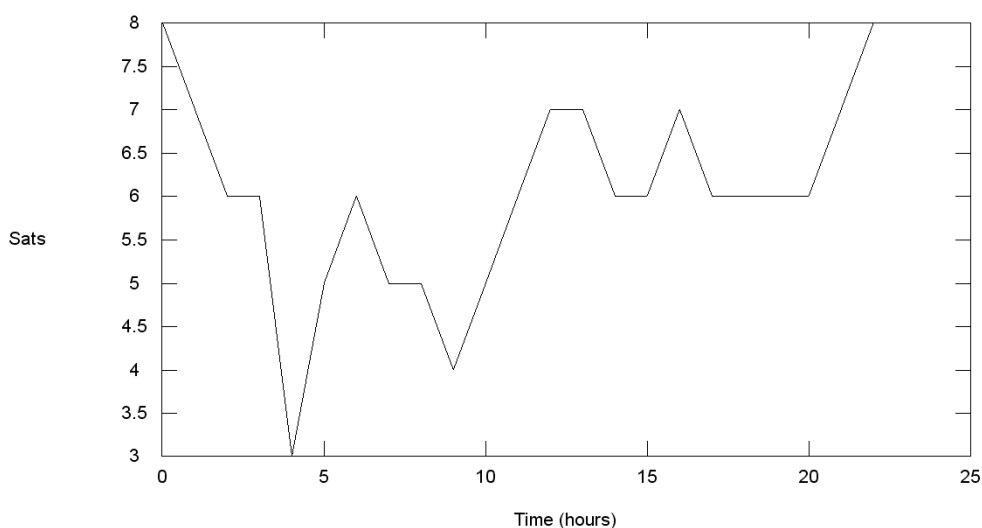
(задаються натисканням на кнопку Position).

4. Кут маски -  $10^{\circ}$  (Mask Angle).
5. Початковий час в день планування в форматі UTC (Start Time).
6. Тривалість періоду планування задається в годинах (Duration).
7. Інтервал визначення величин (Interval).

Після завдання вихідних даних і натискання кнопки Predict будуть побудовані графіки, представлені на рисунках

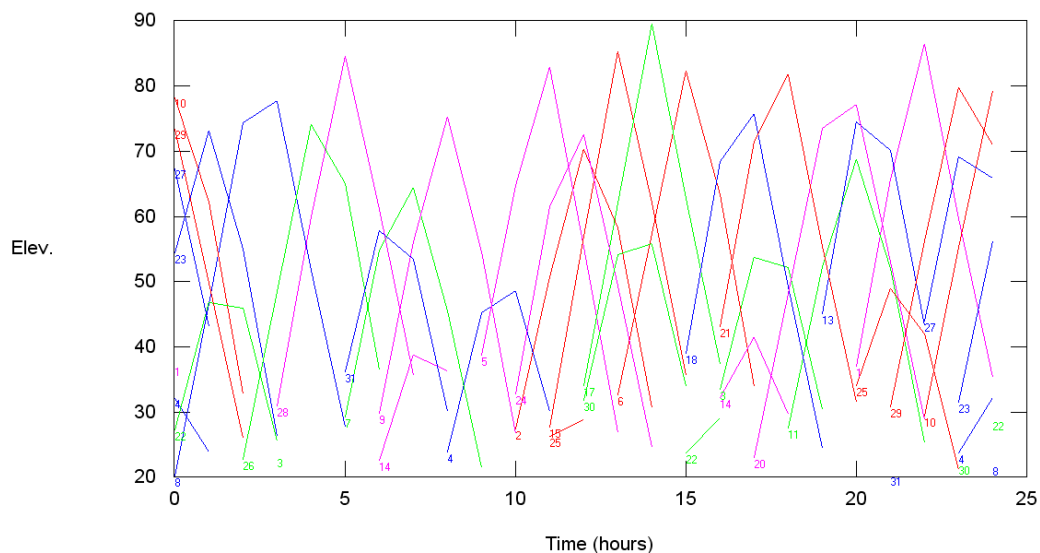


Графік зміни величини PDOP протягом періоду планування.

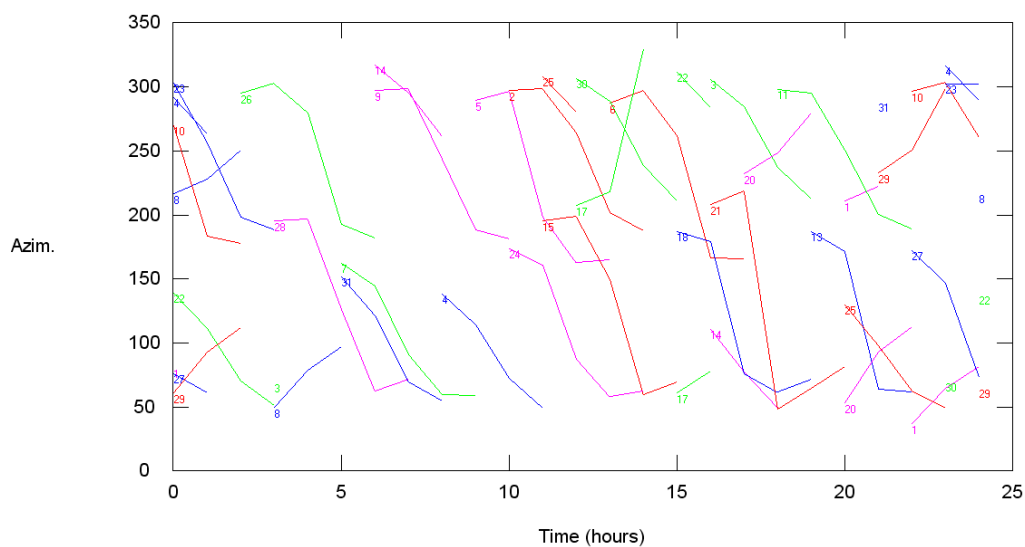


Графік зміни кількості супутників протягом періоду

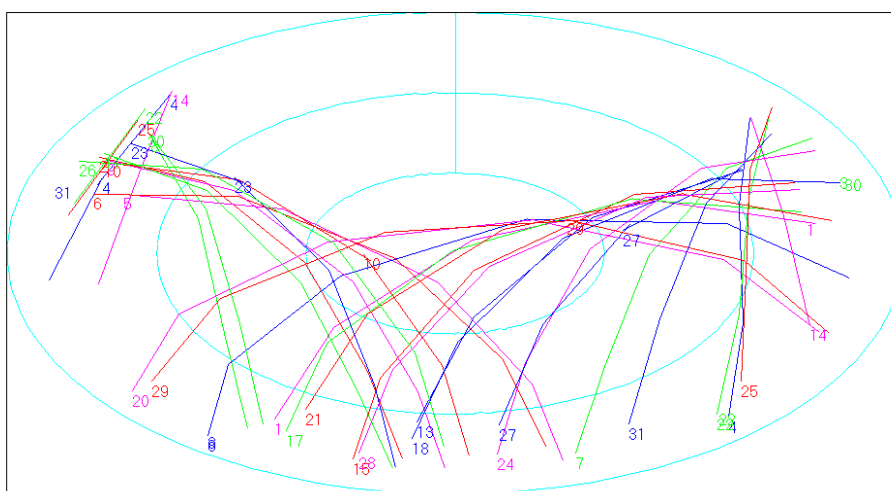
Аналіз графіків дозволяє вибрати оптимальні проміжки часу протягом заданого дня для проведення вимірювань. З подальшої обробки виключаються проміжки часу, в які загальне число супутників менше 6. Аналіз графіків, дозволяє зробити висновок, що проводити вимірювання не можна в проміжках часу: з 4.00 до 7.00 та з 8.00 до 10.00 (час у форматі UTC).



Графік зміни висоти підйому над горизонтом супутників протягом періоду планування.



Графік зміни азимута супутників протягом періоду планування.



Вид небесної сфери з траєкторіями руху супутників.

В інші проміжки часу вимірювання будуть виконані з високою точністю і надійністю.

Подальший аналіз виконується на основі діаграми перешкод, яка будується для пункту.  
Бланк для побудови діаграми перешкод:

### Журнал GNSS – спостережень

<b>НАЗВА ПРОЕКТУ:</b>	<b>ІДЕНТИФІКАТОР ПУНКТУ:</b>		
<b>РОЗТАШУВАННЯ РАЙОНУ</b>	<b>НАЗВА ПУНКТУА:</b> _____		
	<b>ТИП ПУНКТУ:</b> ГОРИЗОНТАЛЬНИЙ / ВЕРТИКАЛЬНИЙ / НОВИЙ / ПОВТОРНИЙ		
<b>РОБІТ:</b>	<b>КОД ПРИЙМАЧА:</b> _____	<b>СЕСІЯ ПРИЙМАЧА №:</b> _____	
	<b>ПОЛЬОВИЙ ТЕРМІНАЛ:</b> ТАК / НІ	<b>НОМЕР ПОЛЬОВОГО ТЕРМІНАЛУ:</b> _____	
<b>ЗАМОВНИК:</b>	<b>ПАРАМЕТРИ ВИСОТИ АНТЕНИ</b>		<b>Врахований здвиг фазового центру? ТАК / НІ</b>
	ПОХИЛА ВИСОТА АНТЕНИ		РАДІУС АНТЕНИ
	На початку	В кінці	ВЕРТИК. ЗДВИГ
<b>ДАТА:</b>	_____ М	_____ М	_____ М
	_____ фут	_____ фут	_____ фут

### ЧАС СПОСТЕРЕЖЕНЬ І СТАТУС

	ЛІЧЛЬНИК СПОСТ.	ВІЛЬНА ПАМ'ЯТЬ, Мб	ЧИСЛО СУПУТНИКІВ	ЗАРЯД БАТАРЕЇ
ПОЧАТОК СПОСТ.: _____ АМ / РМ				ВИСОКИЙ / СЕРЕДНІЙ / НИЗКИЙ / ЗОВН. ДЖЕРЕЛО/
ЗАКІНЧЕННЯ СПОСТ.,: _____ АМ / РМ	1 / 2 / 3 / НЕПРЕР./НЕТ			ВИС/СЕР/НИЗК/

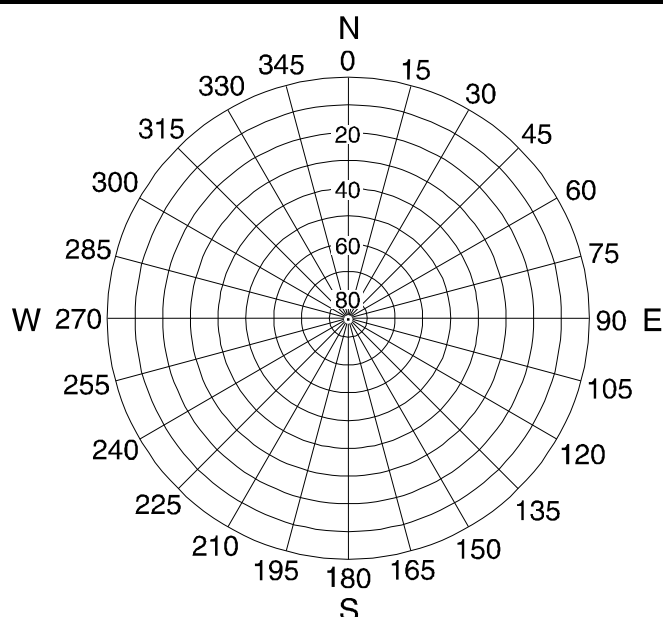
**ЗАУВАЖЕННЯ:**

**ПЕРЕВІРИВ:** \_\_\_\_\_

**СХЕМА РОЗТАШУВАННЯ  
ПУНКТУ НА  
МІСЦЕВОСТІ І**

**ДІАГРАМА ПЕРЕШКОД**

**ВІДТИСК ПУНКТУ / ОПИС ПУНКТУ**



### РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ

Поточне тестування та самостійна робота									Підсумковий контроль	Сума
Змістовий модуль 1					Змістовий модуль 2				30	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9		
8	8	7	8	8	7	8	8	8		

T1...T9 - перелік тем змістових модулів.

#### Шкала оцінювання: національна та ECTS

##### Критерії оцінки знань студентів на заліку

- „Зараховано” отримує студент, який набрав не менш ніж 60 балів за дисципліну протягом семестру.
- „Не зараховано” отримує студент, який набрав менше ніж 60 балів за дисципліну протягом семестру.
- До заліку не допускається студент, який набрав менше ніж 50 балів за навчальну роботу протягом семестру, не виконав і не здав всіх практичних робіт, не відвідував без поважних причин більшу частину лекцій.

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	Зараховано
82-89	<b>B</b>	добре	
74-81	<b>C</b>		
64-73	<b>D</b>	задовільно	
60-63	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технології зніманні методами супутникової геодезії. *Аграрний вісник Причорномор'я*, вип. 51. 2009. С. 64-65.
2. Геодезія. Частина перша: Підручник. 3-тє вид., виправл. та доп. / [за заг. ред. Могильного С.Г. і Гавриленка Ю.М.]. Донецьк: Технопарк ДонНТУ «УНІТЕХ», 2009. 514 с.
3. Геодезичний енциклопедичний словник // за ред. В. Літинського. Львів: Євросвіт, 2001. 668 с.
4. Гофманн–Велленгоф Б., Ліхтененеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення GPS . Теорія і практика. К.: Наук. думка, 1995. 315 с.
5. Інструкція з топографічних знімань для масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. ГКНТ-2.04-02-98. К.: Головне управління геодезії, картографії та кадастру України, 1999. 156 с.
6. Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади: Підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. Львів: ІЗМН, 2000. 324 с.
7. Новак Б.І. Порицький Г.О., Рафальська Л.П. Геодезія: Підручник, 2-ге вид. переробл. та доповн. К.: Арістей, 2008. 284 с.
8. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України (Постанова Кабінету Міністрів України №844 від 8 червня 1998р.) // Зібрання законодавства України. Серія 1. Постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України. 1998. №9 с.416.
9. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія, частина II: Підручник для вузів. Львів: НУ « Львівська політехніка », 2007. 508 с.
10. Підтримка ефективного збору даних для розвитку системи реєстрації прав та нерухомості власності: Зб. матеріалів учбово-практичних семінарів. Книга 2. Просторові дані для кадастрових та реєстраційних систем. К.: НВЦ « Геоматика » та КП Київгеоінформатика, 1999. 345 с.