

**Наталя Сосницька Микола Морозов  
Наталя Дьоміна Лариса Халанчук**

# **СУПУТНИКОВА ГЕОДЕЗІЯ**

**Навчально-методичний посібник**

**Медіополь  
2021**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

**КАФЕДРА ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ І ФІЗИКИ**

**Наталя Сосницька Микола Морозов  
Наталя Дьоміна Лариса Халанчук**

# **СУПУТНИКОВА ГЕОДЕЗІЯ**

**Навчально-методичний посібник**

*Рекомендовано методичною комісією  
факультету агротехнологій та екології  
Таврійського державного агротехнологічного  
університету імені Дмитра Моторного  
як навчальне видання для підготовки здобувачів  
ступеня вищої освіти «Бакалавр»*

**Мелітополь  
2021**

**УДК 528.3(076)**

**С 66**

*Дозвіл до впровадження та видання надано  
методичною комісією факультету агротехнологій та екології  
Таврійського державного агротехнологічного університету  
імені Дмитра Моторного  
(протокол № 9 від 28.04.2021 р.)*

**Рецензенти:**

**Мовчан С. І.**

к.т.н., доцент, завідувач кафедри «Геоєкологія та землеустрій» Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

**Кривильова О. А.**

д.п.н., доцент, доцент кафедри професійної освіти, трудового навчання та технологій Бердянського державного педагогічного університету

**Сосницька Н., Морозов М., Дьоміна Н., Халанчук Л.**

**С 66** Супутникова геодезія : навчально-методичний посібник – Мелітополь : ФОП Силаєва О.В., 2021. – 88 с.

Навчально-методичний посібник розроблено відповідно до навчальної дисципліни «Супутникова геодезія та сферична астрономія» для студентів вищих технічних закладів. Матеріали посібника містять шість практичних робіт модуля «Супутникова геодезія». Кожна робота супроводжується викладенням теоретичного матеріалу, необхідного для виконання практичної роботи, розрахунків та аналізу отриманих результатів.

Видання розраховано на студентів і викладачів технічних, інженерно-технологічних, агротехнологічних факультетів усіх форм навчання, де готують фахівців зі спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

© Сосницька Н., Морозов М., Дьоміна Н., Халанчук Л.

© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2021

## **ЗМІСТ**

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Зміст та структура лекційного курсу</b> .....	6
<b>1. Практичне заняття</b>	
Обчислення координат точки в різних системах координат .....	7
<b>2. Практичне заняття</b>	
Визначення основних параметрів незбуреного руху штучних супутників Землі.....	16
<b>3. Практичне заняття</b>	
Обчислення ефемерид штучних супутників Землі.....	29
<b>4. Практичне заняття</b>	
Вивчення методів вимірювання прискорення вільного падіння .....	39
<b>5. Практичне заняття</b>	
Визначення периметра та площини ділянки за допомогою супутникової геодезії .....	49
<b>6. Практичне заняття</b>	
Пряма та обернена задача геодезії.....	58
<b>Рекомендована та використана література</b> .....	65
<b>Додаток</b>	
Програмне забезпечення.....	66

## **ВСТУП**

Навчально-методичний посібник є частиною методичного забезпечення курсів «Супутникова геодезія і сферична астрономія» та «Супутникова геодезія у землеробстві» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

Метою вивчення курсу «Супутникова геодезія і сферична астрономія» є формування у студентів знань, вмінь та практичних навичок сучасних космічних технологій і її застосування у різноманітних галузях, у першу чергу в землеробстві. Набути компетентності використання методів та приладів (GPS-навігаторів) супутникової геодезії для вирішення практичних завдань при складанні кадастрів і розробки технологій точного землеробства, моніторингу стану навколишнього середовища та інше.

Методи точного позиціювання за допомогою штучних супутників та GPS-приймачів використовують сучасні досягнення в галузях квантової радіофізики, обчислювальної математики, інформаційних технологій (застосування кодів та методів обробки сигналів).

За результатами вивчення курсу «Супутникова геодезія і сферична астрономія» студенти повинні знати:

- принципи та методи супутникової геодезії;
- методи і технічні засоби геодезичних вимірювань;
- методи визначення орбіт супутників за даними спостережень;
- теорію руху супутників та технологію проведення спостережень в геодезичних цілях;

вміти:

- проводити аналіз супутникових даних;

- оцінювати одержані результати вимірювань, а також їх подальшої обробки;
- кваліфіковано розв'язувати геодезичні задачі;
- визначати елементи орбіти (ефемериди) штучних супутників Землі.

Завдання вивчення дисципліни «Супутникова геодезія та сферична астрономія» полягає у формуванні фахівців, здатних:

- теоретично та практично використовувати покладені на них обов'язки щодо використання геодезичних даних у землевпорядній галузі;
- повноцінно забезпечувати процес одержання геодезичних величин шляхом вимірювань, а також належним виконання обчислень;
- аналізувати вплив умов виконання вимірювального процесу на одержанні результати та можливість усунення похибок вимірювань;
- розробляти і виконувати науково та технічно обґрунтовані проекти проведення геодезичних робіт.

В елементній базі приладів супутників все більш широко використовують досягнення сучасної нано і мікроелектроніки, що забезпечує гранично мінімальні розміри та масу апаратури, що є важливим і критичним для супутникових космічних систем.

Практичні заняття проводяться за допомогою інтерактивної дошки і відповідного програмного забезпечення (Mathcad-Scilab), що забезпечує виконання чисельних розрахунків та відео супровід. Поєднання традиційних методів викладання та комп'ютерних технологій приводять до високого рівня засвоєння теоретичних знань з дисципліни «Супутникова геодезія та сферична астрономія».

### **Зміст та структура лекційного курсу**

**Тема 1. Використання супутників у геодезії.** Штучні супутники Землі та параметри орбіти (ефемериди). Принципи супутникової геодезії – геометричний та динамічний методи. Супутникові радіонавігаційні системи (СРНС).

**Тема 2. Системи координат та основи аналітичної геометрії.** Принципи побудови геоцентричних, топоцентричних, супутниково-центричних та геліоцентричних систем координат. Елементи векторної алгебри. Методи визначення площини ділянки.

**Тема 3. Властивості гравітаційного поля.** Загальні характеристики скалярних полів. Поняття про еквіпотенціальні поверхні. Градієнт поля, визначення сили у скалярних полях. Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційне поле Землі. Знаходження гравітаційного потенціалу тіл. Поняття про геоїд. Гравітаційні глобальні та локальні аномалії. Відомості про гравіметри та методи визначення прискорення сили тяжіння.

**Тема 4. Основи динаміки супутників. Методи спостереження штучних супутників Землі.** Особливості динаміки супутника у центральному гравітаційному полі. Поняття про інтеграли руху (закони збереження механічної енергії та моменту імпульсу). Рівняння руху супутників. Особливості оптичних спостережень. Допплерівський метод спостереження, умови радіовидимості супутників.

**Тема 5. Основи космічної геодезії.** Принципи космічної триангуляції. Пряма та обернена задача космічної геодезії. Методи визначення координат при GPS – вимірюваннях.

**Тема 6. Виконання супутникових вимірювань.** Статичний метод. Швидко статичний метод. Псевдокінематичний метод. Метод «Стій – Іди». Кінематика в режимі реального часу. (RTK).

## 1. Практичне заняття ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ ТОЧКИ В РІЗНИХ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ

**Мета:** вивчити основні системи координат, що використовуються в супутникової геодезії, та навчитися перетворювати координати точки з геодезичної в прямокутну референтну систему координат і навпаки.

### 1.1 Теоретичні відомості

Положення точок на поверхні Землі задаються просторовими геодезичними географічними координатами -  $B, L, H$ :  $B$  - геодезична широта кут між площиною екватора і нормаллю до еліпсоїда в точці  $M$ ;  $L$  - геодезична довгота: двогранний кут між площинами початкового геодезичного (гринвіцького) меридіана і геодезичного меридіана точки  $M$ ;  $H$  - геодезична висота над еліпсоїдом (відраховується вздовж нормалі від поверхні еліпсоїда) - рис.1.1. Початок референтної прямокутної системи координат  $O_r$  суміщений з центром референс - еліпсоїда.

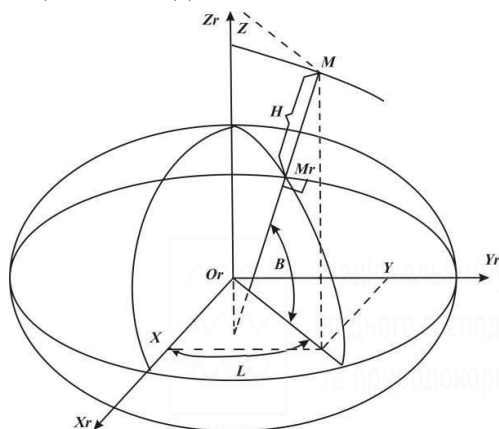


Рис.1.1 Зв'язок геодезичної та прямокутної референтної систем координат



*Завдання 1.* Перетворити геодезичні координати довільної точки в прямокутні координати. Координати м. Мелітополь: широта  $B = 46^{\circ}50.9346'$  пн.ш. ( $46.848910^{\circ}$ ), довгота  $L = 35^{\circ}21.9198'$  сх.д. ( $35.365330^{\circ}$ ), висота над рівнем моря  $H = 37$  м.

Всі координати наведені у всесвітній системі координат WGS 84, яка використовується в супутникові системі глобального позиціонування та навігації GPS.

Розрахункові формули [1]:

$$X_r = (N+H) \cdot \cos B \cdot \cos L \quad (1.1)$$

$$Y_r = (N+H) \cdot \cos B \cdot \sin L \quad (1.2)$$

$$Z_r = [N(1-e^2) + H] \cdot \sin B \quad (1.3)$$

де  $N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 B}} = \frac{a}{W}$ , - радіус кривини першого вертикала,  
 $W$  - функція геодезичної широти.

Крім того:

$$\sqrt{X_r^2 + Y_r^2 + Z_r^2 (1 + e^2)} = a + \frac{H}{W} \quad (1.4)$$

Для референц-еліпсоїда Красовського:  $a = 6378245$  м - ічина великої напівосі;  $e = (0,006693422)^{1/2}$  ексцентриситет.

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

Розрахункові формули: для геодезичної довготи:

$$\operatorname{tg} L = \frac{Y_r}{X_r} \quad (1.5)$$

Проекція геодезичної нормалі на площину екватора обчислюється за формулою:

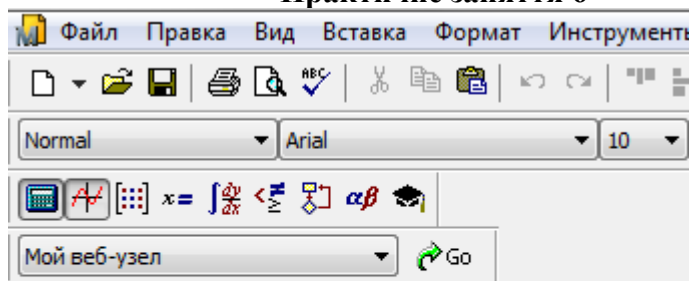
$$D = X_r \cdot \sec L = Y_r \cdot \operatorname{cosec} L \quad (1.6)$$

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

$$\operatorname{tg} B_0 = \frac{Z_r(1+e_1^2)}{D} \quad (1.7)$$

## Додаток Е

### Програмне забезпечення Практичне заняття 6



$$x_2 = 10.196$$

$$y_2 := y_1 + d \cdot \sin(\alpha_{12})$$

$$y_2 = 7$$

$$\alpha_{21} := \left| \alpha_{12} + 180 \cdot \frac{\pi}{180} \right|$$

$$\alpha_{21} = 3.665$$

$$\alpha_{210} := \alpha_{21} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\alpha_{210} = 210$$

$$d_1 := \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$d_1 = 6$$

$$\alpha_{121} := \operatorname{atan}\left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}\right)$$

$$\alpha_{121} = 1.047$$

$$\alpha_{1210} := \alpha_{121} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\alpha_{1210} = 60$$

**Утаталя Сосницька Микола Морозов**  
**Наталя Дьоміна Лариса Халанчер**

## **СУПУТНИКОВА ГЕОДЕЗІЯ**

**Навчально-методичний посібник**

Підписано до друку 03.06.2021р. Формат 60x90/16. Умовн. друк.  
арк. 7,75.

Папір SAVE. Гарнітура Таймс 12. Друк різогр. Зам.№ 128. Наклад  
50 пр.

Надруковано ФОП Силаєва О.В.

Свідоцтво № 2 101 017 0000 003490 від 14.07.1997р.  
72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, вул. Університетська, 44/7.  
Тел. (097) 887 66 01.



OPINION