

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Декан факультету Землеустроювання
Євсюков Т.О.
_____ 2021 р.
РОЗГЛЯНУТО І СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри геодезії та картографії
Протокол № 13 від «13» травня 2021 р.
Завідувач кафедри
Ковальчук І.П.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

GNSS СПОСТЕРЕЖЕННЯ В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ГЕОДЕЗІЇ

(назва навчальної дисципліни)

галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальність 193 – Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація _____

(назва спеціалізації)

факультет

землеустроювання

(назва факультету)

Розробники: доцент кафедри геодезії та картографії, доц., д.е.н. Опенько І. А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

1. Опис навчальної дисципліни
GNSS СПОСТЕРЕЖЕННЯ В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ГЕОДЕЗІЇ
(назва)

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень		
Галузь знань	<u>19-«Архітектура та будівництво»</u> (шифр і назва)	
Спеціальність	<u>193-«Геодезія та землеустрій»</u> (шифр і назва)	
Освітній рівень	<u>бакалавр</u> (бакалавр, спеціаліст, магістр)	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	Нормативна (вибіркова)	
Загальна кількість годин	90	
Кількість кредитів ECTS	3	
Кількість змістових модулів	3	
Курсовий проект (робота) (якщо є в робочому навчальному плані)	-	
Форма контролю	Іспит	
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік підготовки	3	-
Семестр	6	-
Лекційні заняття	30 год.	_____ год.
Практичні, семінарські заняття	30 год.	_____ год.
Лабораторні заняття	_____ год.	_____ год.
Самостійна робота	30 год.	_____ год.
Індивідуальні завдання	_____ год.	_____ год.
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних самостійної роботи студента –	4 год. 1 год.	

2. Мета і завдання навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є теоретична і практична підготовка студентів з питань супутникової навігації та засвоєння методів побудови зйомочного обґрунтування і застосування глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) при вирішенні геодезичних і землевпорядних задач.

Основними завданнями вивчення дисципліни «GNSS спостереження в прикладних задачах геодезії» виступають:

- вивчення основних принципів роботи та побудови існуючих і перспективних супутникових навігаційних систем;
- освоєння методів GNSS-спостереження при вирішенні прикладних задач геодезії;
- набуття практичних навичок при роботі на сучасному устаткуванні, що функціонує в реальному часі в інформаційному просторі, створеному діючою GNSS;
- аналіз впливу різних зовнішніх факторів на процес GNSS-спостережень;

Основні питання, що розглядаються при вивченні дисципліни :

- аналіз сучасних супутникових систем, які утворюють GNSS (NAVSTAR GPS, Glonass, Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS);
- сфери застосування GNSS технологій;
- методи GNSS-вимірювань;
- багатозадачність і точність GPS;
- планування супутникових спостережень;
- будова та функціональні характеристики сучасних GNSS приймачів;
- вивчення структури файлу GPS – сигналу та файлу спостереження у форматі RINEX;
- проектування геодезичної супутникової мережі;
- обробка результатів GNSS спостережень в супутникових геодезичних мережах.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен оволодіти компетентностями:

інтегральними:

здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі геодезії та землеустрою

загальними:

ЗК4. Здатністю до критичного мислення, аналізу і синтезу;

ЗК5. Соціальною та етичною відповідальністю;

ЗК6. Здатністю шукати, обробляти та аналізувати інформацію GNSS спостереження у прикладних задачах геодезії;

ЗК8. Навичками використання супутникових технологій у сфері інжинірингу, геології та геодезії;

ЗК9. Здатністю застосовувати, визначати найбільш доцільний метод GNSS спостереження;

ЗК10. Здатністю спілкуватися державною мовою;

фаховими:

ФК2. Уміннями застосовувати фахові знання у сфері інжинірингу, геології та геодезії на практиці;

ФК3. Здатністю аналізувати методичні підходи у застосуванні навігаційних технологій;

ФК4. Здатністю аналізувати діяльність суб'єктів індустрії супутникової навігації при вирішенні прикладних задач геодезії на всіх рівнях управління;

ФК5. Розумінням сучасних тенденцій у розвитку супутникових технологій у сфері інжинірингу, геології та геодезії;

ФК10. Здатністю здійснювати моніторинг, інтерпретувати, аналізувати та систематизувати дані супутникової навігації.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- способи вимірювань GPS-приймачами (режим статика, кінематика, RTK – використовуючи річну підписку від System Solutions для навчальних цілей);
- порядок формування файлу помилок при плануванні GNSS спостережень;
- алгоритм розрахунку коефіцієнтів втрати точності при проведенні GNSS спостережень;

- організацію роботи з проведення GNSS-вимірів та подальшої обробки отриманих даних.

В результаті вивчення дисципліни студент одержить наступні *практичні навички щодо:*

- здійснення геодезичних вимірювань за допомогою GNSS обладнання (Sokkia Stratus L1, Elnav i70, Elnav M3) та програмного забезпечення LandStar 7;

- освоєння методів GNSS спостереження при вирішенні прикладних задач геодезії;

- постобробки (зрівнювання) даних GNSS спостереження у форматі RINEX за допомогою програмного забезпечення GNSS Solutions, Sokkia Spectrum Survey;

- організації роботи щодо здійснення спостереження, GNSS-планування (аналіз впливу різних зовнішніх факторів на процес GNSS-спостереження) за допомогою утиліти GNSS planning (визначення оптимального періоду спостереження, коефіцієнтів втрати точності: PDOP, HDOP, GDOP тощо);

- використання бази SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center), IGS (International GNSS Service), перманентних станцій в Україні (приватних компаній System Solutions, TNT TPI GNSS Network, ZakPos) при корегуванні результатів вимірювання в режимі RT, RTK – використовуючи річну підписку від System Solutions для навчальних цілей;

вміти:

- організовувати виконання геодезичних робіт щодо GNSS-спостережень;

- оцінювати одержані результати вимірювань, а також їх подальшої обробки;

- проектувати геодезичну супутникову мережу;

- здійснювати обробку, урівнювання результатів GNSS-спостережень в супутникових геодезичних мережах;

- надавати дорадчу допомогу іншим фахівцям з приводу виконання фахових завдань.

3. Програма та структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1 «GNSS технології визначення координат точок земної поверхні»												
Тема 1. Вступ до вивчення дисципліни «GNSS-спостереження в прикладних задачах геодезії»	6	2	2			2						
Тема 2. Структура роботи GNSS	6	2	2			2						
Тема 3. Основні чинники, що впливають на точність GNSS-спостереження	6	2	2			2						
Тема 4. Джерело похибок при GNSS-спостереженні	6	2	2			2						
Тема 5. Супутникова апаратура при GNSS-спостереженні	6	2	2			2						
Разом за змістовим модулем 1	30	10	10			10						
Змістовий модуль 2 «Основні методи позиціонування та похибки при GNSS спостереженні»												

Тема 1. Системи часу	12	4	4			4						
Тема 2. Сучасний стан глобальної супутникової системи	6	2	2			2						
Тема 3. Поняття про мережі перманентних станцій та використання їх даних при GNSS – спостереженні	12	4	4			4						
Разом за змістовим модулем 2	30	10	10			10						
Змістовий модуль 3 «Проектування геодезичної супутникової мережі за допомогою GNSS спостережень»												
Тема 1. Опрацювання даних GNSS – спостереження	6	2	2			2						
Тема 2. Побудова геодезичних мереж супутниковими методами	6	2	2			2						
Тема 3. Проектування і планування робіт при супутникових вимірюваннях	6	2	2			2						
Тема 4. Метрологічна атестація супутникових приймачів	12	4	4			4						
Разом за змістовим модулем 3	30	10	10			10						
Усього годин	90	30	30			30						
Курсовий проект (робота) з _____ (якщо є в робочому навчальному плані)		-	-	-		-						
Усього годин	90	30	30			30						

4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Методи GNSS – вимірювань	2
2	Багатозадачність і точність GPS	2
3	Планування супутникових спостережень (GNSS - planning)	2
4	Будова та функціональні характеристики комплексу приймача EInav i70	2
5	Будова та функціональні характеристики комплексу приймача EInav M3	2
6	Будова і технічні характеристики комплексу GPS приймачів Sokkia Stratus	2
7	Вивчення структури файлу GPS – сигналу та файлу спостереження у форматі RINEX	2
8	Програмне забезпечення для постобробки даних GPS спостереження – «GNSS Solutions»	2
9	Робота з архівом SOPAC міжнародної служби IGS. Обробка супутникових даних спостереження.	2
10	Аналіз приватних мереж щодо забезпечення коригування даних GNSS-спостереження (System Solutions, Компанія «ТНТ ТП», ZAKPOS)	2
11	Вивчення інтерфейсу програмного забезпечення LandStar 7	2
12	GNSS – вимірювання в режимі реального часу RT (RTK) приймачами EInav i70, EInav M3 (використовуючи річну підписку від System Solutions для навчальних цілей)	2
13	Налаштування GPS-приймачів Sokkia Stratus у режим вимірювання Static. Оновлення альманаху.	2
14	Методика вимірювання GPS приймачами Sokkia Stratus (L1) у режимі Static. Створення бази за допомогою GNSS спостереження (диференційний метод).	2
15	Постобробка даних в GNSS Solutions.	2

6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		

7. Контрольні питання, комплекти тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ			
ОС Бакалавр Спеціальність - «Геодезія та землеустрій»	Кафедра геодезії та картографії 2021 р.	ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 1 з дисципліни «GNSS спостереження в прикладних задачах геодезії»	“Затверджую” Зав. кафедри І.П. Ковальчук 2021 р.
Екзаменаційні запитання (максимальна оцінка 10 балів за відповідь на кожне запитання)			
1. Охарактеризуйте загальну структуру роботи GNSS.			

2. Навігаційне повідомлення. Альманах.
Тестові завдання різних типів (максимальна оцінка 10 балів за відповіді на тестові завдання)

1. Що розуміють під визначенням місцеположення (координат у просторі) наземного пункту, нерухомого або об'єкта, що рухається, за допомогою супутникових навігаційно-геодезичних систем (СНГС)?

(у бланку відповідей впишіть вірну відповідь однією фразою)

2. Як називається відстань між супутником і приймачем, обчислена за часом поширення сигналу без поправки за розбіжність годинників на супутнику і приймачі?

(у бланку відповідей впишіть вірну відповідь однією фразою)

3. Яка мінімальна кількість супутників повинна бути при GNSS спостереженні для отримання точних планово-висотних координат пункту спостереження?	№ відповіді
4	A
3	B
2	C
5	D

4. Яка з перелічених систем координат відноситься до загальноземної?	№ відповіді
GRS1980	1
ITRS	2
ETRS89	3
WGS-84	4

5. Яке призначення несучих сигналів?	
для передачі споживачам навігаційного повідомлення	1
носії фази несучих сигналів (фазові псевдодальності)	2
носії інформації про відстань до супутника	3
носії віддалемірних кодів (кодові псевдодальності)	4
носії інформації про синхронізацію часу "супутник-приймач"	5

6. Визначте відповідність між шкалами часу та їх формулами:	
A. IAT =	1. UTC – 19c+1c*n
B. GPST =	2. UTC+03 год 00 хв 00 с
B. ТГЛОНАСС =	3. UTC+1c*n

7. Згрупуйте регіональні Підсистеми функціонального доповнення GNSS супутникового базування (SBAS) відповідно країн розробників?	
А. СКОУ	1. ЄС
Б. EGNOS	2. Україна
В. MSAS	3. США
Г. СДКМ	4. Індія
Д. WAAS	5. Росія
Е. GAGAN	6. Японія

8. На які основні групи розподіляються чинники, що впливають на точність GNSS спостереження?	№ відповіді
Помилки початкових даних	1
Диференціальні	2
Атономні	3
Статичні	4
Апаратні помилки	5
Помилки, пов'язані з впливом зовнішнього середовища	6

9. По якій причині неможливо створити «строго» рівномірні шкали часу?	№ відповіді
Період добового обертання Землі є різним по відношенню до численної кількості геодезичних меридіанів	1
Вісь обертання Землі здійснює повільні періодичні коливальні рухи	2
Сезонні варіації кутової швидкості обертання Землі	1
Нерівномірність добового обертання і орбітального руху Землі	4
Впливу прецесії та нутації	5

10. З якою метою проводиться синхронізація годин приймача з годинниками навігаційної супутникової системи?	№ відповіді
Для компенсації нестабільності годин приймачів при кожному сеансі вимірювань.	1
Для визначення похибки псевдовідстані.	2
Для визначення похибки часового позиціювання (РТОР).	3
Для визначення відстані між супутником та приймачем.	4

8. Методи навчання

1. За характером подачі (викладення) навчального матеріалу: *словесні, наочні, практичні.*
2. За організаційним характером навчання: *Методи організації та здійснення навчально-пізнавальної діяльності; Методи стимулювання і мотивації навчально-пізнавальної діяльності; Методи контролю та самоконтролю у навчанні; Бінарні(подвійні) методи навчання.*
3. За логікою сприйняття та засвоєння навчального матеріалу: *індуктивно-дедуктивні, репродуктивні, прагматичні, дослідницькі, проблемні тощо.*

9. Форми контролю

Номер змістового модуля	Розділ дисципліни	Тема лекції	Тема практичного заняття	Форма контролю знань
1	GNSS технології визначення координат точок земної поверхні	1. Вступ до вивчення дисципліни «GNSS спостереження в прикладних задачах геодезії»	1. Методи GNSS – вимірювань	1. Захист практичного завдання.
		2. Структура функціонування GNSS	2. Багатозадачність і точність GPS	2. Захист практичного завдання.
		3. Основні чинники, що впливають на точність GNSS-спостереження	3. Планування супутникових спостережень (GNSS – planning)	3. Захист практичного завдання.
		4. Джерело похибок при GNSS-спостереженні	4. Будова та функціональні характеристики комплексу приймача Elnav i70	4. Захист практичного завдання.
		5. Супутникова апаратура при GNSS-спостереженні	5. Будова та функціональні характеристики комплексу приймача Elnav M3	5. Виконання контрольної роботи.
2	Основні методи позиціювання та похибки при GNSS спостереженні	6-7. Системи часу	6. Будова і технічні характеристики комплексу GPS приймачів Sokkia Stratus	1. Захист практичного завдання.
			7. Вивчення структури файлу GPS – сигналу та файлу спостереження у форматі RINEX	2. Захист практичного завдання.
		8. Сучасний стан глобальної супутникової системи	8. Програмне забезпечення для постобробки даних GPS спостереження – «GNSS Solutions»	3. Захист практичного завдання.
		9-10. Поняття про мережі перманентних станцій та використання їх даних при GNSS – спостереженні	9. Робота з архівом SOPAC міжнародної служби IGS. Обробка супутникових даних спостереження.	4. Захист практичного завдання.
			10. Аналіз приватних мереж щодо забезпечення коригування даних GNSS спостереження (System Solutions, Компанія «ТНТ ТП», ZAKPOS)	5. Виконання контрольної роботи.
3	Проектування геодезичної супутникової мережі за допомогою GNSS спостережень	11. Опрацювання даних GNSS-спостереження	11. Вивчення інтерфейсу програмного забезпечення LandStar 7	1. Захист практичного завдання.
		12. Побудова геодезичних мереж супутниковими методами	12. GNSS – вимірювання в режимі реального часу RT (RTK) приймачами Elnav i70, Elnav M3 (використовуючи річну підписку від System Solutions для навчальних цілей)	2. Захист практичного завдання.
		13. Проектування і планування робіт при супутникових вимірюваннях	13. Налаштування GPS приймачів Sokkia Stratus у режим вимірювання Static. Оновлення альманаху.	3. Захист практичного завдання.
		14-15. Метрологічна атестація супутникових приймачів	14. Методика вимірювання GPS приймачами Sokkia Stratus (L1) у режимі Static. Створення базису за допомогою GNSS спостереження (диференційний метод).	4. Захист практичного завдання.
			15. Постобробка даних в GNSS Solutions.	5. Виконання контрольної роботи..

10. Розподіл балів, які отримують студенти

Оцінювання рівня знань студента відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національні оцінки згідно з табл. 1 «Положення про екзамени та заліки у НУБіП України» (наказ про уведення в дію від 27.12.2019 р. № 1371)

Рейтинг студента, бали	Оцінка національна за результати складання	
	екзаменів	заліків
90-100	Відмінно	Зараховано
74-89	Добре	
60-73	Задовільно	
0-59	Незадовільно	Не зараховано

Для визначення рейтингу студента (слухача) із засвоєння дисципліни $R_{\text{дис}}$ (до 100 балів) одержаний рейтинг з атестації (до 30 балів) додається до рейтингу студента (слухача) з навчальної роботи $R_{\text{НР}}$ (до 70 балів): $R_{\text{дис}} = R_{\text{НР}} + R_{\text{АТ}}$.

11. Методичне забезпечення

1. Опенько І.А. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт з дисципліни "GNSS спостереження в прикладних задачах геодезії": Опенько І.А., Жук О.П. – 2019. С. 160. (Рішення вченої ради факультету землепорядкування протокол № 2 від 12 вересня 2019 р.)

2. Опенько І.А. Конспект лекцій з дисципліни "GNSS спостереження в прикладних задачах геодезії": Опенько І.А., Жук О.П. – 2019. С. 102. (Рішення вченої ради факультету землепорядкування протокол № 2 від 12 вересня 2019 р.)

12. Рекомендована література

Основна

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст]: в 2 т. – М. : Картоцентр, Новосибирск : Наука. – 2016. – 360 с.

2. Генике, А.А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии [Текст] / А.А. Генике, Г.Г. Побединский. – М.: Картоцентр: Геодезиздат, 2014. – 272 с.

3. Евстафьев, О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования [Текст] / О.В. Евстафьев. – М. : ООО «Издательство «Проспект», 2019. – 48 с.

4. Конин В.В. Спутниковые системы и технологии/ В.В. Конин. – 2016. – 245 с.

5. Могильний С. Г., Войтенко С. П. Геодезія / С. Г., Могильний, С. П Войтенко [Текст]: підручник. – Ч.: Чернігівські оберіги, 2012. – 408 с.

6. Янкуш А.Ю. Широкодиапазонная антенна ГНСС NovAtel GNSS-750 [Текст] / А.Ю. Янкуш, К.Ю. Андреева // Геопрофи. – 2008. – № 6. – С. 35 – 37.

7. Grewal, M.S. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration [Text] / M. S. Grewal, L. R. Weill, A. P. Andrews. – New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Willey & Sons, Inc. – 2001. – 392 p. – Англ.

Додаткова

8. Andrii Martyn, Ivan Openko, Taras Ievsiukov, Oleksandr Shevchenko, Artem Ripenko (2019). Accuracy of geodetic surveys in cadastral registration of real estate: value of land as determining factor. 18th International Scientific Conference. Engineering for Rural Development. 22-24.05.2019 Jelgava, LATVIA. P. 1818-1825. Режим доступа: <http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2019/Papers/N236.pdf>

9. Araszkiewicz, A., Nykiel, G. and Bałdysz, Z. (2015). Impact of higher order ionospheric corrections on the rate of baseline length changes in GPS differential positioning. In 15th

International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2015, Bulgaria. DOI: 10.5593/SGEM2015/B22/S9.038.

10. Baldysz, Z., Nykiel, G., Araszkiewicz, A., Figurski, M. and Szafranek, K. (2016). Comparison of GPS tropospheric delays derived from two consecutive EPN reprocessing campaigns from the point of view of climate monitoring. *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 4861–4877. DOI: 10.5194/amt-9-4861-2016.

11. Baldysz, Z., Nykiel, G., Figurski, M. and Araszkiewicz, A. (2018). Assessment of the Impact of GNSS Processing Strategies on the Long-Term Parameters of 20 Years IWB Time Series. *Remote Sens.*, 10(4), 496. DOI: 10.3390/rs10040496.

12. Baldysz, Z., Nykiel, G., Figurski, M., Szafranek, K. and Kroszczynski, K. (2015). Investigation of the 16-year and 18-year ZTD Time Series Derived from GPS Data Processing. *Acta Geophys.*, 63(4), 1103–1125. DOI: 10.1515/acgeo-2015-0033.

13. Banville, S., Sieradzki, R., Hoque, M., Węzka, K. and Hadas, T. (2017). On the estimation of higher-order ionospheric effects in precise point positioning. *GPS Solut.*, 21(4), 1817–1828. DOI: 10.1007/s10291-017-0655-0.

14. Borio, D., Gioia, C. and Mitchison, N. (2016). Identifying a low-frequency oscillation in Galileo IOV pseudorange rates. *GPS Solut.*, 20(3), 363–372. DOI: 10.1007/s10291-015-0443-7.

15. Cai, C. and Gao, Y. (2013). Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning. *GPS Solut.*, 17(2), 223–236. DOI: 10.1007/s10291-012-0273-9.

16. Cellmer, S., Nowel, K. and Kwasniak, D. (2017). Optimization of a grid of candidates in the search procedure of the MAFA method. In *Environmental Engineering 10th International Conference*, 2017 Vilnius, Lithuania. DOI: 10.3846/enviro.2017.179.

17. Cellmer, S., Nowel, K. and Kwasniak, D. (2018). The New Search Method in Precise GNSS Positioning. *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 54(1), 404–415. DOI: 10.1109/TAES.2017.2670578.

18. Cherniak, I., Krankowski, A. and Zakharenkova, I. (2018). ROTI Maps: a new IGS ionospheric product characterizing the ionospheric irregularities occurrence. *GPS Solut.*, 22:69. DOI: 10.1007/s10291-018-0730-1.

19. Dawidowicz, K. (2018). Differences in GPS coordinate time series caused by changing type-mean to individual antenna phase center calibration model. *Stud. Geophys. Geod.*, 62, 38–56. DOI: 10.1007/s11200-016-0630-1.

20. Dawidowicz, K. and Krzan, G. (2016). Analysis of PCC model dependent periodic signals in GLONASS position time series using Lomb-Scargle periodogram. *Acta Geodyn. Geomater.*, 13(3), 299–314. DOI: 10.13168/AGG.2016.0012.

21. Dawidowicz, K. and Krzan, G. (2017). Periodic signals in a pseudo-kinematic GPS coordinate time series depending on the antenna phase center model – TRM55971.00 TZGD antenna case study. *Surv. Rev.*, 49(355), 268–276. DOI: 10.1080/00396265.2016.1166688.

22. Douša, J., Dick, G., Kacmarík, M., Brožková, R., Zus, F., Brenot, H., Stoycheva, A., Möller, G. and Kaplon, J. (2017). Benchmark campaign and case study episode in central Europe for development and assessment of advanced GNSS tropospheric models and products. *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 2989–3008. DOI: 10.5194/amt-9-2989-2016.

23. Drewes, H., Kuglitsch, F., Adám, J. et al. (2016). The Geodesist's Handbook 2016. *J. Geod.*, 90(10), 907–1205. DOI: 10.1007/s00190-016-0948-z.

24. Dymarska, N., Rohm, W., Sierny, J., Kaplon, J., Kubik, T., Kryza, M., Jutarski, J., Gierczak, J. and Kosierb, R. (2017). An assessment of the quality of near-real time GNSS observations as a potential data source for meteorology. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 5(1), 3–13. DOI: 10.26491/mhwm/65146.

25. Figurski, M. and Nykiel, G. (2017). Investigation of the impact of ITRF2014/IGS14 on the positions of the reference stations in Europe. *Acta Geodyn. Geomater.*, 14(4), 401–410. DOI: 10.13168/AGG.2017.0021.

26. Hadas, T. and Bosy, J. (2015). IGS RTS precise orbits and clocks verification and quality degradation over time. *GPS Solut.*, 19 (1), 93–105. DOI: 10.1007/s10291-014-0369-5.

27. Hadas, T., Krypiak-Gregorczyk, A., Hernández-Pajares, M., Kaplon, J., Paziewski, J., Wielgosz, P., Garcia-Rigo, A., Kazmierski, K., Sosnica, K., Kwasniak, D., Sierny, J., Bosy, J., Pucilowski M., Szyszko, R., Portasiak, K., Olivares-Pulido, G., Gulyaeva, T. and Orus-Perez, R.

(2017). Impact and implementation of higher-order ionospheric effects on precise GNSS applications. *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 122, 9420–6436. DOI: 10.1002/2017JB014750.

28. Hadas, T., Teferle, F.N., Ka'zmierski, K., Hordyniec, P. and Bosy J. (2017). Optimum stochastic modeling for GNSS tropospheric delay estimation in real-time. *GPS Solut.*, 21(3), 1069–1081. DOI: 10.1007/s10291-016-0595-0.

29. Hernández-Pajares, M., Roma-Dollase, D., Krankowski, A., García-Rigo, A. and Orús-Pérez, R. (2017). Methodology and consistency of slant and vertical assessments for ionospheric electron content models. *J. Geod.*, 91, 1405–1414. DOI: 10.1007/s00190-017-1032-z.

30. Hofmann-Wellenhof, B. GNSS - Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more [Text] / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, E. Wasle – Wien, New-York: Springer. – 2008. – 516 p. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-211-73017-1>

31. Hordyniec, P., Huang, C.-Y., Liu, C.-Y., Rohm, W. and Chen, S.-Y. (2018). GNSS radio occultation profiles in the neutral atmosphere from inversion of excess phase data. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* DOI: 10.3319/TAO.2018.10.12.01.

32. Ka'zmierski, K., Hadas, T. and Sosnica, K. (2018). Weighting of Multi-GNSS Observations in Real-Time Precise Point Positioning. *Remote Sens.*, 10 (1), 84. DOI: 10.3390/rs10010084

33. Ka'zmierski, K., Santos, M. and Bosy, J. (2017). Tropospheric delay modelling for the EGNOS augmentation system. *Surv. Rev.*, 49 (357), 399–407. DOI: 10.1080/00396265.2016.1180798.

34. Ka'zmierski, K., Sosnica, K. and Hadas, T. (2018). Quality assessment of multi-GNSS orbits and clocks for real-time Precise Point Positioning. *GPS Solut.*, 22:11. DOI: 10.1007/s10291-017-0678-6.

35. Krypiak-Gregorczyk, A., Wielgosz, P. and Borkowski, A. (2017). Ionosphere Model for European Region Based on Multi-GNSS Data and TPS Interpolation. *Remote Sens.*, 9(12), 1221. DOI: 10.3390/rs9121221.

36. Próchniewicz, D., Szpunar, R. and Walo, J. (2017). A new study of describing the reliability of GNSS Network RTK positioning with the use of quality indicators. *Meas. Sci. Technol.*, 28(1), 015012. DOI: 10.1088/1361-6501/28/1/015012.

13. Інформаційні ресурси

1. – Державне космічне агентство України. Офіційний веб-сайт. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.nkau.gov.ua

2. – GPS World – Англ. – [Electronic resource]. – Режим доступу: www.gpsworld.com

3. – Науково-дослідний інститут геодезії та картографії. Офіційний веб-сайт. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.gki.com.ua

4. – Сайт АО «Систем Солюшнс» – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.systemnet.com.ua

5. – Trimble GNSS Planning Online – Англ. – [Electronic resource]. – Режим доступу: www.gnssplanningonline.com

6. – National Geodetic Survey (NGS) – Англ. – [Electronic resource]. – Режим доступу: www.ngs.noaa.gov/ANTCAL

Автор програми:

д.е.н., доцент,

доцент кафедри геодезії та картографії

І. А. Опенько