

2. Соколовский Я. И. Напряженное состояние трансверсально-изотропной среды со сфероидальным включением при неидеальном механическом контакте / Я. И. Соколовский, Т. І. Бубняк // Теоретическая и прикладная механика. – 1995. – Вып. 25. – С. 17–26.
3. Соколовський Я. І. Просторова задача трансверсально-ізотропного середовища із сфероїдальним включенням при неідеальному механічному контакті / Я. І. Соколовський, Т. І. Бубняк // Доп. НАН України. – 1996. – № 9. – С. 45–50.
4. Бубняк Т. І. Характеристика концентрації нормальних напружень на поверхні включення / Т. І. Бубняк, В. Т. Якимець // Вісник Львівського національного аграрного університету : архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2014. – № 15. – С. 23–27.

Бубняк Т., Фамуляк Ю. Концентрація напружень під час кручення

Показано динаміку напружень залежно від модулів зсуву середовища та включення, а також від її геометрії, в умовах ідеального та неідеального механічних контактів між середовищем і включенням.

Ключові слова: потенціальні функції, трансверсально-ізотропне середовище, ідеальний та неідеальний контакт, сфероїд, поле напружень.

Bubnyak T., Famulyak Yu. Stress concentration during twisting

The dynamics of stress based on the shear modulus protection and inclusion and on its geometry, in terms of ideal and non-ideal mechanical contact between the environment and inclusion.

Key words: potential function, transversely isotropic medium, perfect and imperfect contact spheroid field stresses.

Бубняк Т., Фамуляк Ю. Концентрация напряжений при кручении

Показано динамику напряжений зависимо от модулей смещения среды и включения, а также от ее геометрии, в условиях идеального и неидеального механических контактов между средой и включением.

Ключевые слова: потенциальные функции, трансверсально-изотропная среда, идеальный и неидеальный контакт, сфероид, поле напряжений.

Стаття надійшла 09.05.2017.

УДК 528.4

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАЛЬНИХ
ПЕРЕВИЩЕНЬ МЕТОДОМ GNSS**

А. Віват

Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Визначення перевищень між точками земної поверхні є одним із основних завдань геодезії і використовується в наукових задачах для геодинамічних досліджень та інженерного моніторингу, а також за

топографічного знімання місцевості, під час будівництва та експлуатації промислових, соціально-культурних об'єктів тощо.

Методи нівелювання, такі як геометричне, тригонометричне, фізичне, стереофотограмметричне, механічне, є класичними та добре вивченими. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки.

Розвиток супутникових технологій, таких як GNSS, дав змогу визначити перевищення між точками земної поверхні за допомогою приймачів супутникових сигналів. Основною перевагою цього методу є простота та швидкість виконання, однак його точність потребує дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У проведених дослідженнях [1] метою було дослідити вплив трьох факторів для визначення вертикальної складової GPS-вимірів: тривалості спостережень, довжини вектора та мінімальної висоти супутників над горизонтом. У роботі для досліджень сесії спостережень розділяли на сім інтервалів – від п'яти хвилин до десяти годин. За результатами досліджень виведено формулу середньої квадратичної похибки виміряних перевищень методом GPS та виконано оцінку точності отриманого виразу. Також автори стверджують, що за ліній довжиною до 10 км можна замінювати геометричне нівелювання III-го класу для визначення вертикальних зміщень.

У [2] автори детально дослідили нову технологію GNSS у RTK-режимі. Для дослідження точності визначення нормальних висот у RTK-режимі вимірювання виконували на 33 пунктах Бережанського полігону, нормальні висоти яких відомі з геометричного нівелювання. Автори встановили, що середня квадратична похибка визначення нормальної висоти GNSS у RTK-режимі дорівнює 28 мм. Середня квадратична похибка (с.к.п.) визначення перевищень несуттєво залежить від виду перевищення і дорівнює 30 і 28 мм відповідно для геодезичних і нормальних перевищень. У [3] автори на основі вимірів GNSS на десяти пунктах еталонного базису і геометричного нівелювання за програмою другого класу дослідили точність GNSS-нівелювання із застосуванням гравітаційних моделей EGM2008 і EGM96. Середня квадратична похибка визначення перевищення становила не більше ніж 5 мм із десяти годинних сесій спостережень. У [4] подано методику висотної прив'язки геодезичного пункту RP 12 до нівелірної мережі I класу. У [5] (с.к.п.) визначення нормального перевищення записується формулою:

$$m_h = \sqrt{(\eta \cdot \sqrt{L})^2 + (\sigma \cdot L)^2}, \quad (1)$$

де η – випадкова похибка; σ – систематична похибка; L – довжина ходу, км.

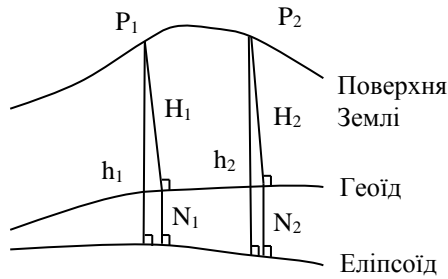
Так, для довжини ходу у 10 км для I, II, III та IV класів нівелювання с.к.п. m_h відповідно дорівнює 2,6 6,6 15,8 та 31,6 мм.

У [6] згадано про метод GPS, але тільки для планового визначення координат.

Постановка завдання. Наше завдання – дослідити точність визначення нормальних перевищень на локальній території.

Виклад основного матеріалу. Методом GNSS можна визначити геодезичні висоти – h (рис. 1), які відлічуються від поверхні еліпсоїда. У свою чергу нормальні

висоти H відлічуються від поверхні геоїда. Їх пов'язує величина N – ундуляція геоїда.



Запишемо рівність для двох точок:

$$H_1 = h_1 - N_1 \quad (2)$$

$$H_2 = h_2 - N_2 \quad (3)$$

$$H_2 - H_1 = h_2 - h_1 - (N_2 - N_1) \quad (4)$$

Рис. 1. Суть GNSS нівелювання

Із формули (4): за однакової ундуляції геоїда перевищення нормальні та геодезичні є рівними.

Об'єкт нашого дослідження, розташований на території м. Львова та м. Дублян, охоплює приблизно 5 км² (рис. 2).

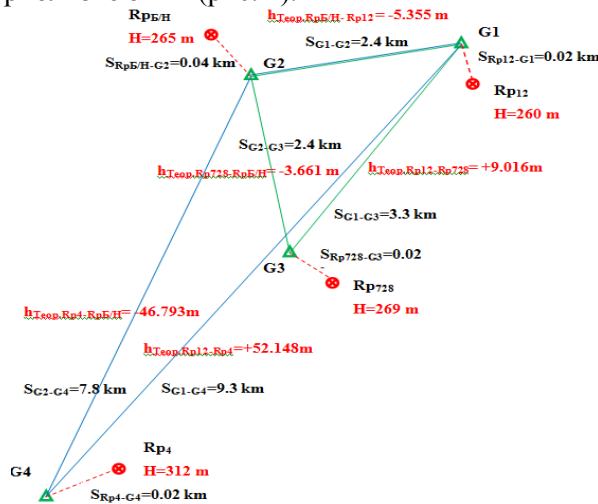


Рис. 2. Схема вихідних реперів та спостережних GNSS станцій

До об'єкта входить три пункти нівелірної мережі I класу та один пункт II класу. Мінімальна відстань між вихідними пунктами – 2,5 максимальна – 9,7 км. Мінімальне перевищення – 3,7 максимальне – 52,1 м. Загалом є п'ять еталонних (теоретичних) перевищень на різних довжинах. Практичні перевищення отримували як різницю висот, визначених за допомогою приймачів супутникових сигналів.

Для дослідження використано три приймачі: два Leica – GX1230 та один Spectra Precision – Epoch 35. Записували дані тригодинною сесією та п'ятисекундним інтервалом. У табл. 1–3 подано характеристики для трьох епох спостережень.

Дані опрацьовували у програмному забезпеченні Leica Geo Office та Topcon Tools, використовуючи точні ефемериди й таблиці калібрації антен (рис. 3–5).

Таблиця 1

Епоха спостережень 30.06.2016 р. ЗВ31/36

Пункт	Приймач	Антенa	Висота антени, м	Точка відліку	Тривалість, год.
G1	LeicaGX1202	LeicaAX1202	1,216	ARP	5
G2	Ashtech Promark200	Ashtech ASH111661	0,982	ARP	3
G3	Ashtech Promark200	Ashtech ASH111661	1,196	ARP	3

Таблиця 2

Епоха спостережень 06.07.2016 р. ЗВ31/36

Пункт	Приймач	Антенa	Висота антени, м	Точка відліку	Тривалість, год.
G1	LeicaGX1202	LeicaAX1202	1,386	ARP	5
G2	Ashtech Promark200	Ashtech ASH111661	1,148	ARP	3
G3	Ashtech Promark200	Ashtech ASH111661	1,383	ARP	3

Таблиця 3

Епоха спостережень 20.07.2016 р. ЗВ34

Пункт	Приймач	Антенa	Висота антени, м	Точка відліку	Тривалість, год.
G1	LeicaGX1202	LeicaAX1202	1,033	ARP	5
G2	Ashtech Promark200	Ashtech ASH111661	1,180	ARP	3
G4	SpectraPrecision EPOCH 35	EPOCH 35 Internal	1,138	ARP	3

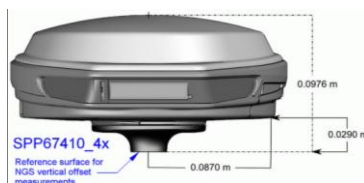
SPP67410_44 NONE EPOCH 35
Rover GPS/GLONASS, LED

Рис. 3. Приймач Epoch 35 та NGS-параметри його калібрації

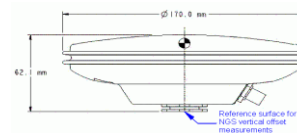
LEIAX1202GG NONE
External geodetic antenna

Рис. 4. Антена LEICA 1202GG та NGS

параметри її калібрації

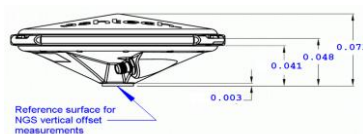
ASH111661 NONE L1/L2/L5 GNSS survey antenna,
base of RF NGS

Рис. 5. Антена ASH11166 та NGS-параметри її калібрації

Анени приймачів центрували над тимчасовими пунктами, вимірюючи висоту за спеціальною методикою. Перевищення із вихідних реперів на тимчасові пункти передавали за допомогою геометричного нівелювання II класу (рис. 6).

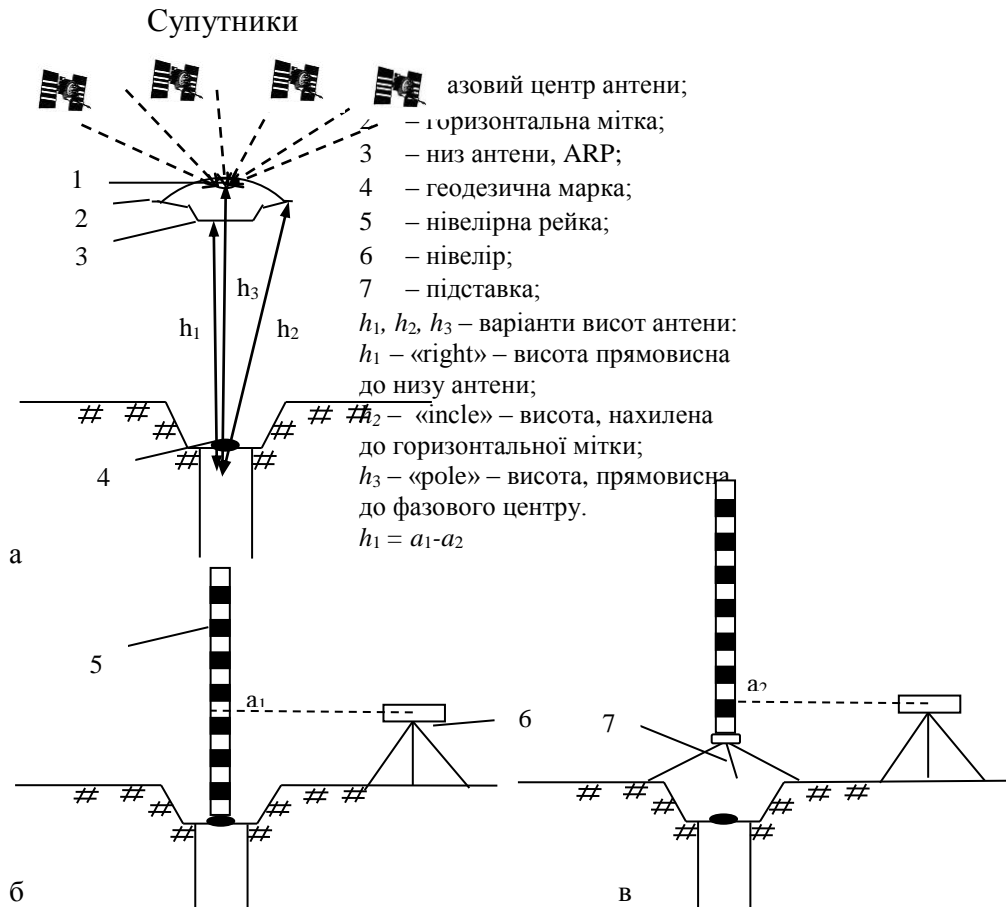


Рис. 6 (а, б, в). Методика виміру висоти антени

Результатом обчислень є 18 просторових координат точок X, Y, Z у системі координат ETRS89. Точність визначення координат – не більше ніж 3 мм. Для подальшого обчислення використовували координати, отримані з програми Topcon Tools.

Далі координати перетворювали в геодезичні B, L, H . До геодезичних висот додавали перевищення для приведення їх до стінних реперів. За різницею геодезичних висот обчислювали геодезичні перевищення.

Результати порівнянь теоретичних нормальних перевищень та нормальних, визначених нами GNSS-методом, подано у табл. 4–6.

Таблиця 4

Результат. Епоха спостережень 30.06.2016 р. ЗВ31/36

Назва перевищення	Теор., м	Пр., м	Різниця (Пр.-Теор.), мм	Відстань км	Нев'язка II класу $5_{mm}\sqrt{L_{km}}$
RpBN-Rp12	-5,355	-5,345	+10	2,4	8
Rp12-Rp728	9,016	9,002	-14	3,3	9
Rp728-RpBN	-3,661	-3,660	+1	2,4	8

Таблиця 5

Результат. Епоха спостережень 06.07.2016 р. ЗВ31/36

Назва перевищення	Теор., м	Пр., м	Різниця (Пр.-Теор.), мм	Відстань км	Нев'язка II класу $5_{mm}\sqrt{L_{km}}$
RpBN-Rp12	-5,355	-5,3519	+31	2,4	8
Rp12-Rp728	9,016	-9,0216	-6	3,3	9
Rp728-RpBN	-3,661	-3,699	-38	2,4	8

Таблиця 6

Результат. Епоха спостережень 20.07.2016 р. ЗВ34

Назва перевищення	Теор., м	Пр., м	Різниця (Пр.-Теор.), мм	Відстань км	Нев'язка II класу $5_{mm}\sqrt{L_{km}}$
RpBN-Rp12	-5,355	-5,3415	+13	2,4	8
RpBN-Rp4	-46,793	-46,8479	-54	7,8	13
Rp12-Rp4	-52,148	-52,2581	-110	9,3	15

За отриманими різницями теоретичних та практичних перевищень доходимо висновку про досягнення точності у передачі відмітки методом GNSS на рівні II класу, де нев'язка у ході дорівнює: $(f_h = 3 m_h = 5_{mm} \cdot \sqrt{L_{km}})$ геометричного нівелювання для відстані, що не перебільшує 2,5 км та перевищенні не більше ніж 5 м для першої та третьої епох спостережень. Для другої епохи різниця утричі гірша. На нашу думку, це зумовлено несприятливими умовами спостережень.

Для контролю якості даних ми встановили залежність між абсолютною точністю визначення висот у кожен момент часу. Що менша середня квадратична похибка визначення абсолютних висот, то якісніші дані (рис. 7, 8).

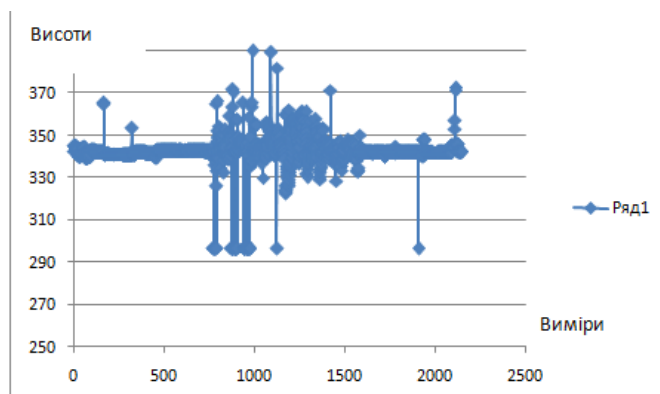


Рис. 7. Абсолютні висоти точки G_2 на кожну епоху спостережень

Time	X	Y	Z	Time	Satellite number	Elevation angle	Slot type
20.07.2016 9:27:15	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 2		L1CA
20.07.2016 9:27:20	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 2		L2P
20.07.2016 9:27:25	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 29		L1CA
20.07.2016 9:27:30	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 29		L2P
20.07.2016 9:27:35	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 24		L1CA
20.07.2016 9:27:40	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 24		L2P
20.07.2016 9:27:45	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 25		L1CA
20.07.2016 9:27:50	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 25		L2P
20.07.2016 9:27:55	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 12		L1CA
20.07.2016 9:28:00	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GPS 12		L2P
20.07.2016 9:28:05	3765309,6200	1677476,6391	4851220,8984	20.07.2016 9:27:40	GLONASS 14		L1CA

Рис. 8. Вікно програми TopconTools для відключення неякісних спостережень

Різниця теоретичних та практичних перевищень для відстані 7,8 та 9,3 км й перевищення 47 та 52 м відповідно становила 54 та 110 мм, що гірше за нівелювання IV класу, де нев'язка у ході дорівнює: $f_h = 2m_h = 20_{mm} \cdot \sqrt{L_{km}}$.

Оскільки точність визначення перевищень методом GNSS для всіх епох практично однакова і становить 3 мм, то такі істотні різниці перевищень свідчать про нерівність геоїда на відстані приблизно 10 км та перевищення 50 м. Визначивши висоту геоїда з моделі EGM2008 (рис. 9) та ввівши її у перевищення, точність зростає до рівня II класу нівелювання.

Висновки. Виконано GNSS-спостереження на чотирьох пунктах нівелірної мережі I-II-го класів, які розташовані на території Львівської області на відстані 2-10 км. Визначено просторові координати пунктів у системі ETRS89, а відтак – геодезичні перевищення. Запропоновано точну методику визначення висот антен з використанням геометричного нівелювання. Встановлено рівність геодезичних і нормальних перевищень за однакової висоти геоїда на досліджуваній території. У першу епоху спостережень за лініями отримано нев'язку, яка відповідає точності II-го класу геометричного нівелювання. У другу епоху досягнута точність гірша, що можна пояснити грубими та випадковими похибками, яких можна уникнути за запропонованим нами алгоритмом. У третю епоху спостережень виявлено

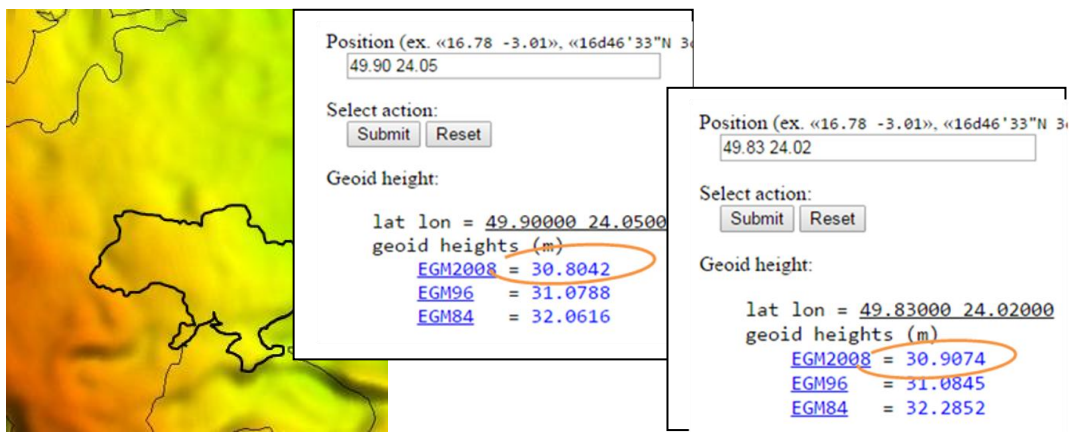


Рис. 9. Значення висоти геоїда для пунктів RP₄ та RP₁₂

систематичну похибку і встановлено, що вона виникає через нерівності геоїда. За однакових висот геоїда заданою методикою можна вимірювати нормальні перевищення з точністю II–III класів геометричного нівелювання. Таку методику можна використовувати для уточнення висот геоїда в локальних регіонах.

Бібліографічний список

1. Грицюк Т. Ю. До питання оцінки точності вимірювання перевищень методом GPS / Т. Ю. Грицюк, К. Р. Третяк // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – Вип. 69. – С. 78–82.
2. Дослідження точності визначення координат GNSS методом в режимі RTK / Віват А. Й., Літинський В. О., Колгунов В. М., Покотило І. Я. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип. 74. – С. 52–59.
3. Тревого І. Аналіз результатів нових експедицій на метрологічних об'єктах наукового геодезичного полігона / І. Тревого, І. Цюпак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2015. – С. 66–69.
4. Прив'язування геодезичного полігона аграрного університету м. Дубляни до нівелірної мережі I класу / В. Літинський, С. Перій, А. Віват, П. Колодій // Використання й охорона земельних ресурсів: актуальні питання науки та практики : Міжнар. наук.-практ. конф. мол. вчених : зб. тез. доп. – 2016. – С. 118–120.
5. Інструкція по нивелированию I, II, III и IV классов. – М. : Недра, 1990. – 167 с.
6. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – К. : ГУГК, 1999. – 156 с.

Віват А. Дослідження точності визначення нормальних перевищень методом GNSS

Виконано GNSS-спостереження на чотирьох пунктах нівелірної мережі I–II-го класів, розташованих на території Львівської області на відстані 2–10 км. Визначено просторові координати пунктів у системі ETRS89, а також геодезичні перевищення. Запропоновано точну методику визначення висот антен завдяки геометричному нівелюванню. Встановлено рівність геодезичних і нормальних перевищень за однакової висоти геоїда на досліджуваній території.

Ключові слова: GNSS-нівелювання, визначення перевищень, опрацювання статичних GNSS-даних.

Vivat A. Research of accuracy normal elevations determination by GNSS method

GNSS observation is carried out on 4 points of the leveling network I–II class, which are located on the territory of the Lviv region at a distance of 2–10 km. The spatial coordinates of the points in the ETRS89 system are determined, followed by geodetic excesses. An accurate method for determining the antenna heights using geometric leveling is proposed. The equality of geodesic and normal excesses at the same geoid height at the investigated territory is established.

Key words: GNSS-leveling, leveling determination, static GNSS data processing.

Виват А. Исследование точности определения нормальных превышений методом GNSS

Выполнено GNSS-наблюдения на четырёх пунктах нивелирной сети I–II-го классов, которые расположены на территории Львовской области на расстоянии 2–10 км. Определены пространственные координаты пунктов в системе ETRS89, а также геодезические превышения. Предложена точная методика определения высот антенн с помощью геометрического нивелирования. Установлено равенство геодезических и нормальных превышений при одинаковой высоте геоида на исследуемой территории.

Ключевые слова: GNSS-нивелирования, определения превышений, обработки статических GNSS-данных.

Стаття надійшла 05.09.2017.

UDK 324.012.3.075.23

MODELING OF THE STRESSED-DEFORMED CONDITION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN SIMULTANEOUS INFLUENCE OF AGGRESSIVE ENVIRONMENT AND LOADING

*R. Shmyh, Candidate of Technical Sciences
Lviv National Agrarian University*

The introduction. The reinforced concrete constructions of buildings and structures are often used in complex production conditions (under high positive or low negative temperatures, high humidity, under a complex aggressive environment, etc.).

The intense action of the aggressive environment contributes to the emergence and development of the process of corrosion of concrete and reinforcing steel reinforced concrete structures. And this, in turn, affects the reduction of the bearing capacity of the reinforced concrete structure, the increase of deflections, operational suitability.