

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ПЕТРОВ СЕРГІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

УДК: 528.48

МОНІТОРИНГ ВЕРТИКАЛЬНИХ ЗМІЩЕНЬ ТЕХНОГЕННО-
НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ГЕОДЕЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

05.24.01–геодезія, фотограмметрія та картографія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів–2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Третяк Корнелій Романович,
директор Інституту геодезії
Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
Самойленко Олександр Миколайович,
директор Науково-виробничого інституту геометричних,
механічних та віброакустичних вимірювань та оцінки
відповідності засобів вимірювальної техніки (Інститут № 4), м.
Київ;
кандидат технічних наук, доцент,
Ільків Євген Юрійович,
доцент кафедри геодезії та землеустрою, Івано-Франківський
національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-
Франківськ.

Захист відбудеться «15» березня 2019 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, ауд. 502, II навч. корпус.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «12» лютого 2019 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент

Паляниця Б. Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На території України розташована велика кількість потенційно небезпечних об'єктів паливно-енергетичного комплексу, гідротехнічних споруд, підприємств з видобутку корисних копалин з обмеженим експлуатаційним ресурсом. У зв'язку з цим геодезичний моніторинг техногенно-навантажених територій є важливим та необхідним для запобігання руйнуванню об'єктів, а також для прогнозування деформацій інженерних споруд.

Техногенно-навантажені території та об'єкти, які на них розташовані, переважно знаходяться в сейсмоактивних зонах (ГЕС Дністровського каскаду, Стебницьке родовище калійних солей), на територіях з коливальними рухами земної кори (ГЕС Дніпровського каскаду, Шебелинське газове родовище), в районах розвитку карсту (Рівненська та Хмельницька АЕС). У зв'язку з цим вплив геодинамічних процесів на досліджуваній території може проявлятися як на глобальному, так і на регіональному чи локальному рівнях. У вивченні геодинамічних процесів різного характеру впливу важливу роль відіграють геодезичні методи. Для ефективного та достовірного моніторингу вертикальних зміщень необхідно розділяти методику проведення геодезичних досліджень, правильно застосовувати приладову базу, а також використовувати ефективні методи опрацювання одержаної інформації для прогнозування геодинамічних процесів та проведення районування досліджуваних територій за спільними кінематичними характеристиками.

Поява нових геодезичних та геотехнічних приладів дозволяє створювати комплексні системи моніторингу вертикальних зміщень на техногенно-навантажених територіях. Використання результатів геотехнічних спостережень у поєднанні з результатами геодезичних вимірів потребує розробки методики сумісного опрацювання таких результатів та перевірки її на реальних об'єктах.

У розвиток теоретичних і практичних питань моніторингу вертикальних зміщень на геодинамічних полігонах значний внесок зробили такі вчені, як: П. І. Баран, К. О. Бурак, С. П. Войтенко, А. С. Мазницький, А. Л. Островський, К. Р. Третьак, П. Г. Черняга, В. Я. Чорнокін, В. Н. Ганьшин, Ю. П. Гуляев, А. К. Зайцев, В. Е. Новак, М. Е. Пискунов, Г. П. Левчук, Г. А. Шеховцов, J. M. Acton, Bihter Erol, Ingo Neumann та інші.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Науково-дослідні роботи автора відповідають науковому напрямку кафедри вищої геодезії і астрономії «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань» та науковій тематиці робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Геодезичного моніторингу та рефрактометрії» (ГНДЛ-18) і навчально-наукової лабораторії «Опрацювання супутникових вимірювань» Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка».

Мета і завдання досліджень. Основною метою в роботі є підвищення точності та достовірності результатів моніторингових досліджень вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій геодезичними та геотехнічними методами для

врахування впливу геодинамічних процесів, які відбуваються на цих територіях. Для досягнення цієї мети в роботі необхідно розв'язати такі завдання:

1. На основі критичного аналізу методів визначення вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій обґрунтувати можливість застосування для цього геотехнічних методів;
2. Розробити методику опрацювання ГНСС – вимірів на кінематичних геодезичних мережах з врахуванням коефіцієнтів кінематики геодезичних пунктів;
3. Розробити методику математичного районування території техногенних геодинамічних полігонів за даними повторних висотних вимірів;
4. Розробити методику дослідження просторової кінематики техногенно-навантажених територій та визначення імовірних місць підземних руйнівних явищ за результатами геотехнічних спостережень.

Об'єктом дослідження є моніторинг вертикальних зміщень на техногенно-навантажених територіях.

Предметом дослідження є опрацювання результатів геодезичних та геотехнічних спостережень на техногенно-навантажених територіях комплексними геодезичними та геотехнічними методами.

Методи досліджень. При виконанні даної роботи застосовували методи лінійної алгебри, математичного аналізу та статистичні методи математичного опрацювання геодезичних спостережень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в роботі на основі результатів геодезичного та геотехнічного моніторингу техногенно-небезпечних територій уперше:

1. Розроблена методику опрацювання ГНСС – вимірів на кінематичних геодезичних мережах з врахуванням коефіцієнтів кінематики геодезичних пунктів опорної мережі геодезичного моніторингу інженерних споруд, на прикладі Канівської ГЕС.
2. Розроблена методику математичного районування території техногенних геодинамічних полігонів за даними повторних висотних вимірів, яка апробована на території Рівненської АЕС.
3. Розроблена та експериментально перевірена методику сумісного опрацювання результатів геометричного нівелювання та вимірів інклінометрами.
4. Розроблена та експериментально перевірена методику визначення нахилів земної поверхні за результатами інклінометричного моніторингу.
5. Розроблено метод визначення місць підземних обвалів за даними нахиломірних спостережень на території рудника №2 Стебницького родовища калійних солей. Показано, що одержані результати узгоджуються з результатами супутникової радарної інтерферометрії.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Методику застосовано для опрацювання ГНСС – вимірів на геодезичних мережах з врахуванням коефіцієнтів кінематики геодезичних пунктів у локальній мережі автоматизованого геодезичного моніторингу інженерних споруд Канівської ГЕС, що дозволяє опрацьовувати дані спостережень без використання дорогого та складного в реалізації програмного забезпечення Vernese та без прив'язки до перманентних базових станцій;

2. На прикладі опорної висотної мережі Рівненської АЕС реалізована методика математичного районування території техногенних геодинамічних полігонів за даними повторних висотних вимірів, та на основі цього проведено групування реперів за кінематичними характеристиками та районування території об'єкту;
3. За результатами експериментальних досліджень підтверджено методику сумісного опрацювання нахиломірних спостережень та даних геометричного нівелювання;
4. За результатами нахиломірних спостережень отримані результати просторової кінематики території рудника № 2 Стебницького родовища калійних солей для її районування та визначення імовірних місць підземних руйнівних явищ.
5. Методи та результати досліджень можуть бути впроваджені в навчальний процес для студентів спеціальності – 193 Геодезія та землеустрій, в дисциплінах «Геодезичний моніторинг геодинамічних явищ та інженерних споруд» та «Моніторинг і прогнозування напружено-деформованого стану територій, будівель та споруд» та спеціальності – 103 Науки про Землю в дисциплінах «Основи геофізики».

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором, опубліковані в співавторстві у працях [26, 27, 36, 67, 98, 147] та одноосібно – [80]. В опублікованій праці [26] автору належать експериментальні дослідження для визначення зміщень перекриття водозливної греблі Добротвірської ТЕС; у праці [27] – підтвердження можливості застосування геодезичного моніторингу на техногенно-небезпечних територіях; у праці [36] – розробка методики районування техногенно-навантажених територій за даними високоточних нахиломірних спостережень. У роботі [67] – методика визначення місць підземних руйнівних явищ за результатами нахиломірних спостережень. У роботі [98] – апробація методики опрацювання ГНСС – вимірів на кінематичних геодезичних мережах з врахуванням коефіцієнтів кінематики геодезичних пунктів. У роботі [147] – розробка та апробація методики математичного районування території техногенних геодинамічних полігонів за даними повторних висотних вимірів.

Апробація результатів роботи. Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

1. Міжнародна наукова-технічна конференція «Геофорум 2014» (Яворів, Львів) у 2014 р.
2. Міжнародна наукова-технічна конференція «Геофорум 2015» (Львів, Брюховичі) у 2015 р.
3. Міжнародна наукова-технічна конференція «Геофорум 2018» (Львів, Брюховичі) у 2018 р.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 7 наукових праць. Чотири статті в наукових фахових виданнях України, дві входять до наукометричної бази даних Index Copernicus та одна до наукометричної бази даних Web of Science.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (172 найменування) та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 154 сторінки, ілюстрації складають: 55 рисунків, 19 таблиць, 1 додаток.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, сформульовані основні положення, які винесені на захист, наведені відомості про апробацію роботи, повноту результатів публікацій та їх впровадження.

У першому розділі дисертаційної роботи «Аналіз методів моніторингу вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій» розглянуті питання використання геодезичних та геотехнічних методів у системах автоматизованого моніторингу на геодинамічних полігонах.

Визначення вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій відіграє значну роль у вирішенні найважливішої прикладної проблеми – запобігання природно-технічних катастроф на цих територіях. Для визначення вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій застосовують геодезичні, геотехнічні, геологічні, геофізичні методи.

Геодезичні методи моніторингу вертикальних зміщень можна розділити на наземні, наземно-дистанційні та дистанційні. Різні методи геодезичного моніторингу застосовують для врахування вертикальних зміщень, викликаних впливом геодинамічних явищ різного характеру (локальні, регіональні, глобальні). Основним недоліком цих методів є дискретність та точковість одержуваної інформації, що, в свою чергу, знижує оперативність контролю за деформаційними процесами та унеможливує їх подальше прогнозування (рис. 1).

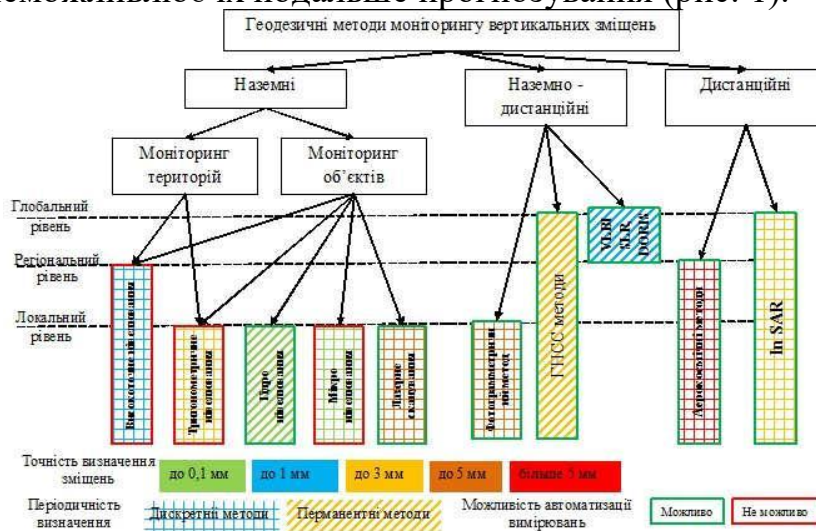


Рис. 1 Класифікація методів геодезичного моніторингу вертикальних зміщень

Інженерно-геодезичні мережі, які створюють на техногенних геодинамічних полігонах відносять до кінематичних мереж. Кінематичними вважають мережі з безперервною зміною в часі просторового положення її пунктів за умови, якщо СКП визначення координат є вищою ніж величина їх зміщень. Ключовою проблемою при опрацюванні таких мереж є визначення істинного просторового положення пунктів та їх стійкості. При опрацюванні кінематичних мереж важливим є вибір вихідної поверхні, яку, як правило, вважають нерухомою. Насправді внаслідок ендогенних та екзогенних факторів ця поверхня зазнає зміщень у просторі.

Для моніторингу нахилів земної поверхні чи локальних об'єктів на ній, а також, що особливо важливо, для кількісної оцінки величини, швидкості та напрямку руху, останнім часом у світовій практиці почали використовувати цифрові інклінометри. Одержання безперервної інформації цифровими інклінометрами дозволяє проводити перманентний моніторинг стану, як вихідної мережі так і безпосередньо території, на якій його здійснюють. Це дасть можливість одержувати додаткову інформацію про кінематичні характеристики геодезичних мереж і здійснювати техногенне районування території.

У другому розділі дисертаційної роботи «Визначення кінематичних характеристик геодезичних мереж для районування території промислових об'єктів» розроблені та апробовані методики опрацювання ГНСС – вимірів на кінематичних геодезичних мережах з врахуванням коефіцієнтів кінематики геодезичних пунктів та районування території техногенних геодинамічних полігонів за даними повторних висотних вимірів.

З метою врахування різного характеру впливу імовірних геодинамічних процесів розроблено методику опрацювання ГНСС – вимірів на пунктах кінематичних геодезичних мереж. Ця методика враховує коефіцієнти кінематики геодезичних пунктів на основі опрацювання повторних циклів спостережень, з врахуванням середнього просторового положення мережі (СППМ). За результатами опрацювання повторних циклів спостережень визначаємо зміну проекцій векторів $\delta x_{i,j}$, $\delta y_{i,j}$, $\delta z_{i,j}$, де i та j – номери пунктів початку та кінця вектора. Відповідно:

$$\delta x_{i,j} = \Delta X_j - \Delta X_i; \delta y_{i,j} = \Delta Y_j - \Delta Y_i; \delta z_{i,j} = \Delta Z_j - \Delta Z_i, \quad (1)$$

де ΔX , ΔY , ΔZ – проекції зміщення відповідних пунктів мережі.

Оскільки для дослідження деформацій кінематичної просторової мережі необхідно провести ряд послідовних циклів спостережень, то на параметри ΔX , ΔY , ΔZ у рівнянні (1) можна накласти умову:

$$\frac{\Delta X_i}{\Delta X_j} = \frac{Kx_i}{Kx_j}; \frac{\Delta Y_i}{\Delta Y_j} = \frac{Ky_i}{Ky_j}; \frac{\Delta Z_i}{\Delta Z_j} = \frac{Kz_i}{Kz_j}, \quad (2)$$

де Kx_i , Kx_j , Ky_i , Ky_j , Kz_i , Kz_j – коефіцієнти, які характеризують кінематику, або інтенсивність зміни відповідних проекцій векторів протягом певної кількості циклів спостережень.

Коефіцієнт кінематики обчислюють за величиною проекції середнього квадратичного відхилення на відповідні координатні осі довжини вектора між пунктами за весь або певний період спостережень. При достатній та рівномірній частоті циклів спостережень зміщення пунктів відбувається за лінійним законом і середні квадратичні відхилення можна замінити на відповідні зміщення пунктів ΔX , ΔY , ΔZ .

Для визначення зміщення пунктів мережі, пов'язаних з деформацією мережі, введемо поняття середнього вагового зміщення вздовж осей координат X , Y та Z кожної пари пунктів i та j із врахуванням кінематичних коефіцієнтів:

$$Dx_{i,j} = \frac{(Kx_j - Kx_i) \delta x_{ij}}{2(Kx_j + Kx_i)}; Dy_{i,j} = \frac{(Ky_j - Ky_i) \delta y_{ij}}{2(Ky_j + Ky_i)}; Dz_{i,j} = \frac{(Kz_j - Kz_i) \delta z_{ij}}{2(Kz_j + Kz_i)}, \quad (3)$$

де δx_{ij} , δy_{ij} , δz_{ij} – зміщення на відповідні координатні осі довжини проекції вектора між парою пунктів i та j .

Середнє вагове зміщення вздовж осей координат X, Y та Z кожної пари пунктів характеризує зміну величини центра проекції пунктів мережі. Відповідно зміну СППМ, викликану її деформацією, запишемо як:

$$\delta\delta_x = \frac{2\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^n D_{x_{i,j}}}{n(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n}, \delta\delta_y = \frac{2\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^n D_{y_{i,j}}}{n(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i}{n}, \delta\delta_z = \frac{2\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^n D_{z_{i,j}}}{n(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i}{n}, \quad (4)$$

де величини $\delta\delta_x, \delta\delta_y, \delta\delta_z$ назвемо середньо ваговим зміщенням усієї мережі у відповідній проекції.

За результатами класичного зрівноваження визначаємо зміщення пунктів $\Delta X_i^{yp}, \Delta Y_i^{yp}, \Delta Z_i^{yp}$ і відповідно зміщення СППМ:

$$\Delta\Delta_x = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i^{yp}}{n}; \Delta\Delta_y = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i^{yp}}{n}; \Delta\Delta_z = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i^{yp}}{n}, \quad (5)$$

а також кінцеві зміщення пунктів:

$$\delta X_i = \Delta X_i^{yp} - (\Delta\Delta_x - \delta\delta_x); \delta Y_i = \Delta Y_i^{yp} - (\Delta\Delta_y - \delta\delta_y); \delta Z_i = \Delta Z_i^{yp} - (\Delta\Delta_z - \delta\delta_z). \quad (6)$$

Представлену методику і алгоритм обчислень нами реалізовано у пакеті MATHCAD, та апробовано на опорній мережі системи автоматизованого

геодезичного моніторингу інженерних споруд Канівської ГЕС.

Зрівноваження вимірів у першому циклі спостережень виконуємо класичним параметричним методом. За результатами наступного циклу вимірів знову проводимо зрівноваження параметричним методом. Для зрівноваження мережі в наступних циклах вимірів за наближені координати пунктів беремо координати, одержані у попередньому циклі спостережень. В результаті були одержані зміни координат X, Y, Z відносно першого циклу спостережень та їх загальне зміщення (рис. 2). За результатами зрівноваження була проведена оцінка точності (рис. 3)

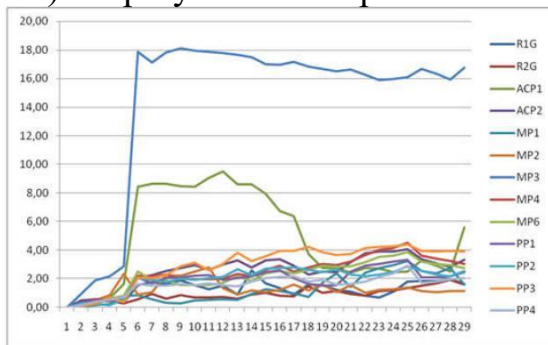


Рис. 2 Графік зміни загальних зміщень пунктів відносно першого циклу спостережень, мм

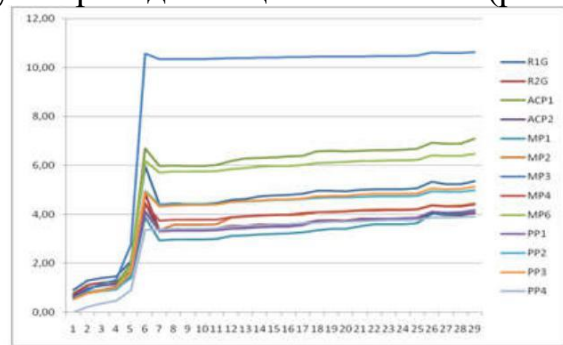


Рис. 3 СКП просторового положення пунктів з врахуванням похибок вимірів, мм

Результати, отримані за допомогою запропонованої нами методики опрацювання ГНСС – вимірів, були порівняні з даними зрівноваження з використанням ПЗ Bernese. В результаті опрацювання сесій добових ГНСС спостережень були отримані зміни координат пунктів мережі автоматизованого геодезичного моніторингу Канівської ГЕС (рис. 4) та СКП їх визначення в системі координат ITRF2008 (рис. 5). Аналізуючи одержані результати, можна зробити висновок, що обидва методи зрівноваження дають практично однакові результати. Важливою перевагою використання даної методики є те, що зрівноваження проводять без прив'язки до перманентних базових станцій. Це нам дозволяє встановити необхідну

початкову систему відліку, для виокремлення впливу геодинамічних явищ на регіональному та локальному рівнях.

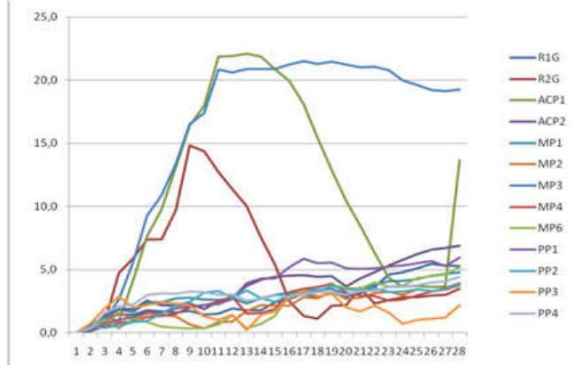


Рис. 4 Графік зміни загальних зміщень пунктів відносно першого циклу спостережень за результатами зрівноваження в ПЗ Bernese, мм

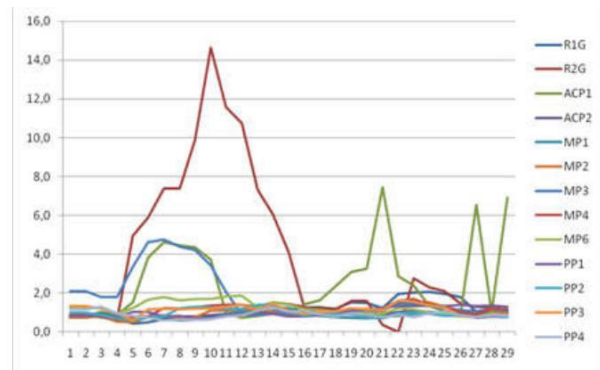


Рис. 5 СКП просторового положення пунктів за результатами зрівноваження в ПЗ Bernese, мм

Аналіз та прогнозування деформаційних процесів на геодинамічних полігонах має важливе значення для безпечної експлуатації великих промислових об'єктів. Для проведення аналізу зміщення реперів за даними повторних висотних вимірів на геодинамічних полігонах розроблена методика, суть якої зводиться до моделювання вертикальних лінійних зміщень і періодичних коливань реперів за формулою:

$$h = a \cdot t + b + c \cdot \cos\left(\frac{2\pi(t-t_0)}{T} n\right) + s \cdot \sin\left(\frac{2\pi(t-t_0)}{T} n\right), \quad (7)$$

де a , b – коефіцієнти рівняння регресії лінійного зміщення глибинного репера (a – середня річна швидкість зміщення репера, b – початкова висота репера); c , s – гармонічні коефіцієнти, t_0 , t – початкова та поточна епоха спостережень, n – кількість періодів коливань тривалістю T , які вкладаються у проміжок $t-t_0$.

У виразі (7) $a \cdot t + b$ – рівняння прямої, яке фактично описує лінійне зміщення глибинного репера, а друга частина формули описує періодичність зміни вертикального положення репера.

За результатами повторних вимірів для кожного репера способом найменших квадратів знаходять коефіцієнти a і b рівняння регресії (7). Коефіцієнт a і b характеризують лінійний тренд, тому для вивчення періодичності коливань застосуємо вираз:

$$h = c \cdot \cos\left(\frac{2\pi(t-t_0)}{T} n\right) + s \cdot \sin\left(\frac{2\pi(t-t_0)}{T} n\right). \quad (8)$$

Оскільки гармонічні коливання залежать від довжини періоду, то необхідно для кожного репера визначити довжину періоду коливань, який найкраще описує ці вертикальні зміщення.

З цією метою нами в середовищі MATHCAD складено програму для підбору оптимальної гармонічної кривої для опису кінематики глибинних реперів. Для кожного глибинного репера складають систему рівнянь (8), з розв'язку яких одержують оптимальний період коливань. Кожне рівняння відповідає певному циклу спостережень. Критерієм вибору оптимальних параметрів гармонічної функції опису зміщень реперів є мінімум виразу:

$$M(T) = c \cdot \cos\left[\frac{2\pi(t-t_o)}{T} n\right] + s \cdot \sin\left[\frac{2\pi(t-t_o)}{T} n\right] - H_i = \min \quad , \quad (9)$$

де H_i – висота репера у відповідному циклі спостережень.

Запропонована методика була апробована на опорній висотній мережі Рівненської АЕС. Мережа (рис. 6) включає дев'ять глибинних реперів (Rp3 – Rp11), розміщених на території енергоблоків № 1 – 4 та двох глибинних реперів (Rp1, Rp2), розміщених на території градирень.

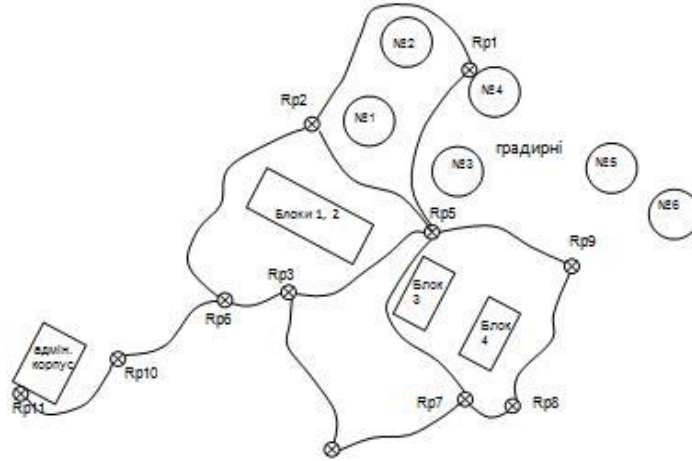


Рис. 6 Схема опорної висотної мережі на території Рівненської АЕС

За період з 1984 по 2013 роки було проведено 110 циклів спостережень. Висоти реперів визначені нівелюванням I класу. Репер № 5 прийнято за нерухомий. За даними вимірів побудовано графіки зміни висот глибинних реперів протягом періоду спостережень (рис.7).

Використовуючи вираз (7), для усіх реперів визначені коефіцієнти a і b . Оскільки коефіцієнт b співвідноситься з початковою висотою репера, то нас цікавить виключно коефіцієнт a , тому в табл. 1 представлені значення середніх річних швидкостей (v) зміщення реперів і середні квадратичні похибки їх визначення.

Таблиця 1

Середні річні швидкості зміщень реперів та похибки їх визначення

№ репера	v , мм/рік	m_v , мм/рік
1	0,014	0,008
2	0,070	0,004
3	0,033	0,004
4	-0,015	0,006
5	0,000	0,000
6	0,028	0,004
7	0,058	0,009
8	-0,080	0,010
9	-0,012	0,019
10	0,012	0,032
11	-0,052	0,029

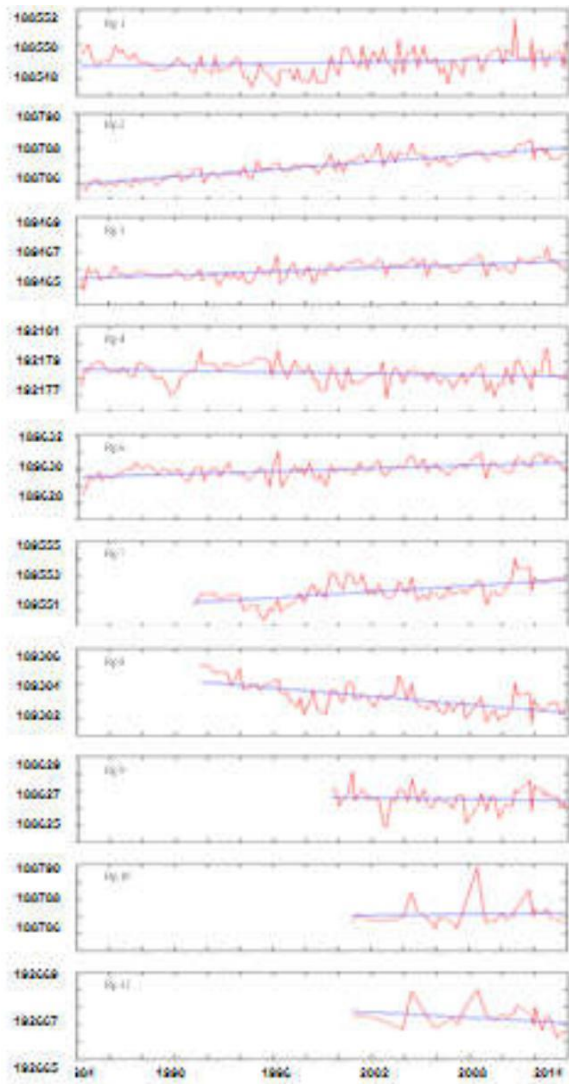
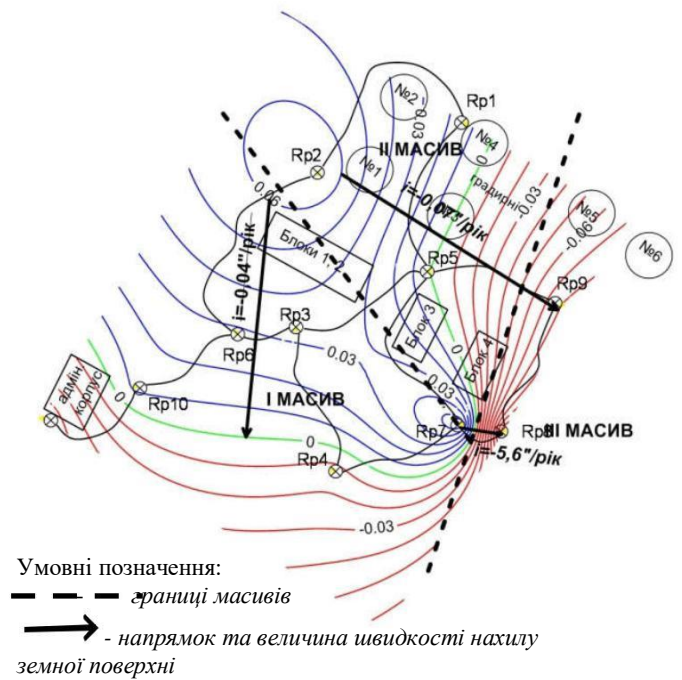


Рис. 7 Графік зміни висотного положення глибинних реперів (в мм)

У зміщеннях, позбавлених лінійного тренду, залишилась періодична компонента зміщення глибинних реперів (рис. 9, червона лінія). На графіках наведених на рис. 9 видно, що зміщення реперів мають періодичну закономірність.

З метою визначення оптимального періоду коливань кожного глибинного репера досліджено зміну СКП апроксимації рядом Фур'є висотних коливань реперів від довжини періоду (9). Для кожної кривої визначено оптимальний період коливань (рис. 9, лінія синього кольору), який відповідає мінімальному значенню СКП (рис. 10, позначено стрілкою). За результатами визначення оптимального періоду коливань з розв'язку системи рівнянь (8) визначені коефіцієнти c та s . В табл. 2 представлені оптимальні періоди та розмах коливань, а також коефіцієнти (c , s) гармонічних коливань для кожного глибинного репера. На основі цього проведено групування реперів за кінематичними характеристиками та здійснено районування території об'єкту на три блоки за однаковими швидкостями та напрямками руху.



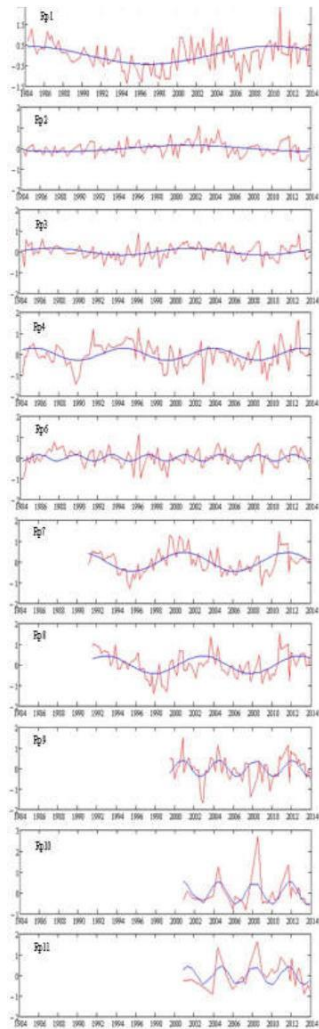


Рис.9 Графік вертикальних зміщень глибоких реперів позбавлених лінійного тренду, мм

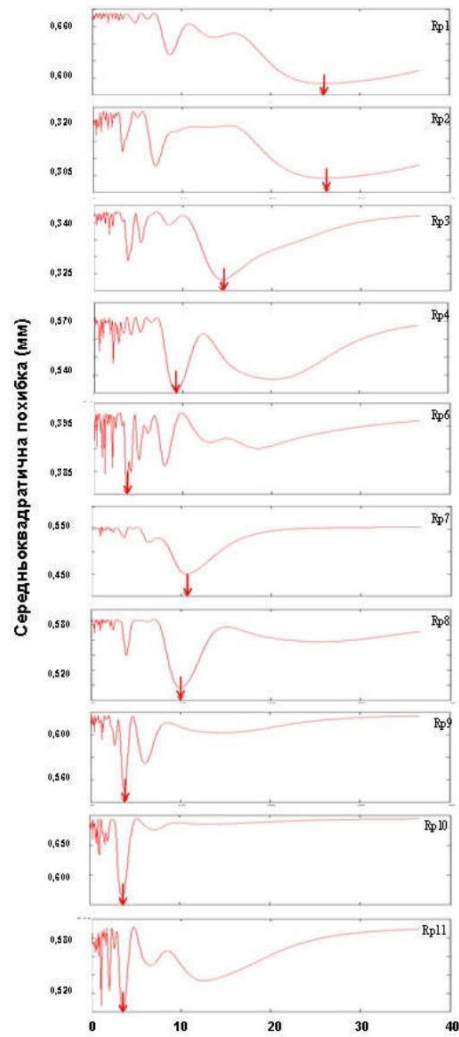


Рис.10 Графік визначення оптимального періоду коливань глибоких реперів, роки

Таблиця 2

Оптимальний період і розмах коливань глибоких реперів та коефіцієнти гармонічних коливань

№ репера	T, роки	Розмах коливань репера ,мм	c	s
1	26,5	0,9	0,4341	0,0032
2	26	0,3	-0,0821	-0,1275
3	14	0,3	0,0226	0,1642
4	9	0,6	0,1680	0,2366
6	4	0,3	-0,1583	-0,0185
7	11	0,9	0,4254	-0,1677
8	10	0,9	0,1463	0,4026
9	4	0,8	-0,3852	0,0715
10	3,5	1,1	0,1195	0,5301
11	3,5	0,9	-0,3650	0,2680

На рис. 8 показані ізолінії річних вертикальних швидкостей руху земної кори на території Рівненської АЕС, яку умовно розділено на три масиви. На території

масиву I розташовані енергоблоки №1 – 2. На території масиву II розташовані енергоблок №3 та градирні №1 – 4. На території масиву III розташований енергоблок №4.

У третьому розділі дисертаційної роботи «Розробка методики сумісного опрацювання результатів геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів» розглянуто можливість сумісного опрацювання геотехнічних (нахиломірні вимірювання за допомогою високоточних цифрових інклінометрів) та геодезичних (геометричне нівелювання) методів.

Для визначення зміни перевищення у загальному випадку застосовують вираз:

$$h = S \cdot \operatorname{tgi}, \quad (9)$$

де S – віддаль між точками для яких обчислюється перевищення, i – величина кута нахилу.

Оскільки цифровий інклінометр вимірює кути нахилу в двох взаємно перпендикулярних площинах i_x та i_y (рис. 11), то для обчислення величини зміни перевищення по напрямку максимального нахилу необхідно знайти максимальне значення кута нахилу i :

$$i = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}. \quad (10)$$

Величина максимального значення кута нахилу визначена в радіанах, то у виразі (9) нею можна замінити тангенс кута нахилу. Якщо нас цікавить зміна перевищення будь-якої точки А, яка знаходиться у межах жорсткої основи, необхідно визначити зміну величини нахилу в цій точці та місце її розташування відносно цифрового інклінометра.

Для цього необхідно знайти напрямок зміни максимального кута нахилу α відносно однієї з осей (для зручності це вісь X):

$$\alpha = \arctan \left(\frac{i_x}{i_y} \right) \quad (11)$$

а також напрямок β на точку А від осі X. Цю величину знаходимо за координатами взаємного розташування цифрового інклінометра та точки А:

$$\beta = \arctan \left(\frac{Y_A - Y_1}{X_A - X_1} \right), \quad (12)$$

де X_1, Y_1, X_A, Y_A – відповідні координати цифрового інклінометра та точки А.

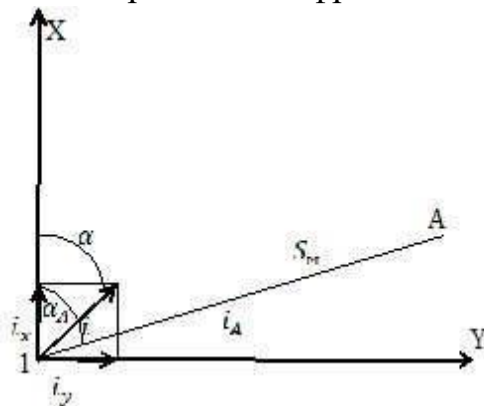


Рис. 11 Визначення залежності між перевищеннями та кутами нахилу

Після чого знаходимо величину зміни кута нахилу i_A на точку А:

$$i_A = i \cdot \cos(\alpha_A - \alpha), \quad (13)$$

а також зміну перевищення h_{mm} до цієї точки, мм:

$$h_{mm} = i \cdot S_{Am}, \quad (14)$$

де S_{Am} – відстань від точки встановлення інклінометра до точки А, м, яку знаходимо за виразом:

$$S = \sqrt{(X_A - X_1)^2 + (Y_A - Y_1)^2}. \quad (15)$$

Сумісне зрівноваження результатів геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів виконано параметричним методом.

У рівняннях поправок у мережі нівелювання невідомими величинами (параметрами) є висоти невідомих точок. Точніше, не висоти, а поправки до наближених значень висот цих точок. У загальному вигляді рівняння поправок вимірюваного перевищення має вигляд:

$$v_{ij} = dH_j - dH_i + (h_{ij}^0 - h_{ij}), \quad (16)$$

де v_{ij} – поправка у виміряне перевищення, dH_j dH_i – поправки в наближені значення висоти точок j та i відповідно, h_{ij}^0 – різниця перевищень, обчислених за наближеними висотами точок та h_{ij} – виміряне перевищення.

У рівняннях поправок для нахиломірних вимірів у виразі (16) вимірювана зміна перевищення буде обчислена за виразом (14).

З метою перевірки методу сумісного опрацювання результатів високоточного геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів інклінометрами та для дослідження точності визначення зміни висот, одержаних цими методами, був проведений експеримент.

Для проведення експерименту була змонтована металева рама січенням (4 x 4 см) у вигляді прямокутника розміром 5,92 x 6,00 м, яка встановлена на чотири кронштейни, які були закріплені в стінах та колонах приміщення. Два кронштейни були закріплені в стіні жорстко, а інші два мали мікрометричні гвинти для зміщення (піднімання чи опускання) усієї конструкції у межах 3 см. Величину зміщення задавали за допомогою індикатора годинникового типу. На двох протилежних сторонах рами були встановлені інклінометри, так щоб вісь нахилу X була паралельна стороні рами. Для проведення нівелювання на кутах рами закріплені рейки довжиною 0,7 м, та використані чотири цифрові нівеліри Trimble DiNi 03. У загальному вигляді конструкція для проведення експерименту наведена на рис. 12.

За допомогою кронштейнів з мікрометричними гвинтами та індикаторів годинникового типу задавали нахил конструкції (піднімання чи опускання) з різним кроком (1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм), та різним інтервалом часу (15 хв, 10 хв, 5 хв).

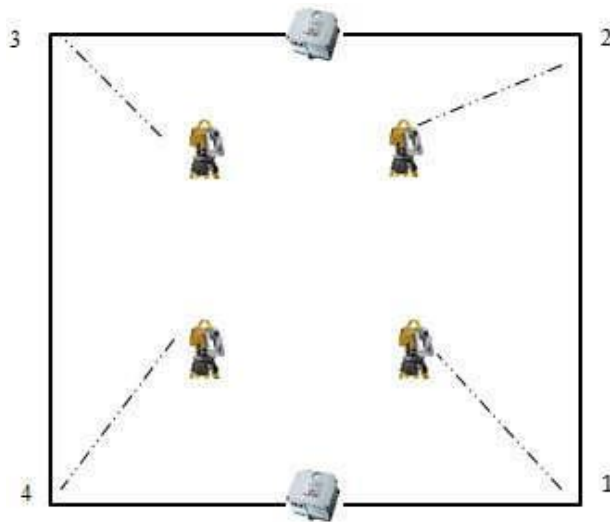




Рис. 12 Схема конструкції для проведення експерименту
1 та 2 кронштейни з мікрометричними гвинтами; 3 та 4 кронштейни
закріплені жорстко;  - місця розташування нівелірів;  - місця
розташування інклінометрів

Представлену методику й алгоритм сумісного зрівноваження реалізовано у пакеті MATHCAD. Вихідними даними для сумісного опрацювання результатів нівелювання та нахиломірних вимірів служили зміни перевищення точок, визначені з геометричного нівелювання, кути нахилу конструкції по осях X та Y, а також координати точок 1 – 4 та місць розташування інклінометрів. Матриця коефіцієнтів A в нашому випадку мала вигляд:

$$A = \begin{array}{cccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array}$$

Перший блок матриці 4 x 6 містить коефіцієнти при поправках до зміни перевищення невідомих точок, які визначені першим інклінометром, другий блок – містить коефіцієнти при поправках до зміни перевищення невідомих точок, які визначені другим інклінометром, та третій блок – коефіцієнти при поправках до зміни перевищення невідомих точок, які визначені шляхом високоточного геометричного нівелювання.

За результатами сумісного зрівноваження отримано зміни перевищення точок та СКП їх визначення, а також обчислені величини відхилів зміни перевищення від еталонного значення (виміри перевищень індикатором годинникового типу), на основі яких побудовані графіки (рис. 13).

Аналізуючи ці графіки, можна зробити висновок, що відхили зміни перевищення точок від еталонного значення після сумісного зрівноваження коливається у межах 0,02 – 0,06 мм (за винятком декількох циклів спостережень, де ці величини становлять 0,1 – 0,2 мм з технічних причин проведення експерименту).

Результати експерименту доводять, що нахиломірні виміри можуть бути використані в комплексних автоматизованих системах деформаційного моніторингу техногенно-навантажених територій.

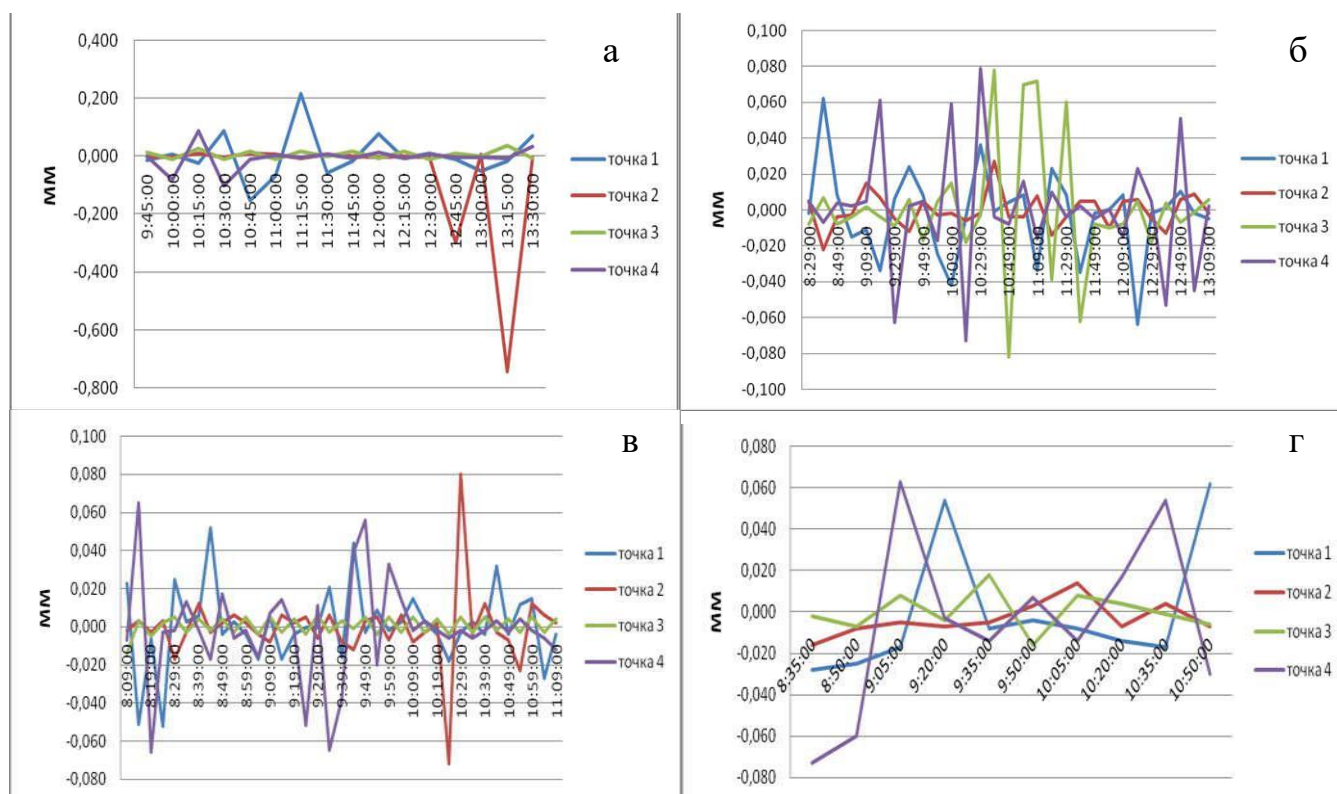


Рис. 13 Графік відхилення зміни перевищення від еталонного значення (експеримент проведено: а - 18.04.14., б - 22.04.14., в - 23.04.14., г - 25.04.14.)

У четвертому розділі дисертаційної роботи «Застосування нахиломірних вимірів для моніторингу техногенно-навантажених територій» розроблена та експериментально перевірена методика визначення нахилів земної поверхні за результатами інклінометричного моніторингу, а також розроблений метод визначення місць підземних обвалів за результатами нахиломірних спостережень, які апробовані на території рудника № 2 Стебницького родовища калійних солей.

Для проведення моніторингу створена система моніторингу території у межах гірничого відводу шахтних полів рудника № 2 Стебницького родовища, яка складається з двох нахиломірних станцій Nivel 210. Інклінометри були встановлені у підвальних приміщеннях школи в селі Модричі та готелю «Візит», який розташований поблизу дороги до м. Трускавець (рис. 14). Для реалізації методики запропонованої в розділі 3 даної роботи були визначені координати місць встановлення інклінометрів (табл. 3) та проведено їх взаємне орієнтування.

Таблиця 3

Координати місць встановлення нахиломірних станцій

Назва станції	Координати	
	В (широта)	Л (довгота)
Модричі	49°18'48"	23°29'25"
Візит	49°17'51"	23°30'32"

До місць встановлення інклінометрів прокладено мережу живлення 220 V та лінію Інтернет. Після чого інклінометри були під'єднані до комп'ютерів для одержання та опрацювання результатів вимірів у реальному часі.



Рис. 14 Місця встановлення
інклінометрів

Після цього за формулою (10) обчислювали зміни максимального кута нахилу обох нахиломірних станцій (рис. 16).

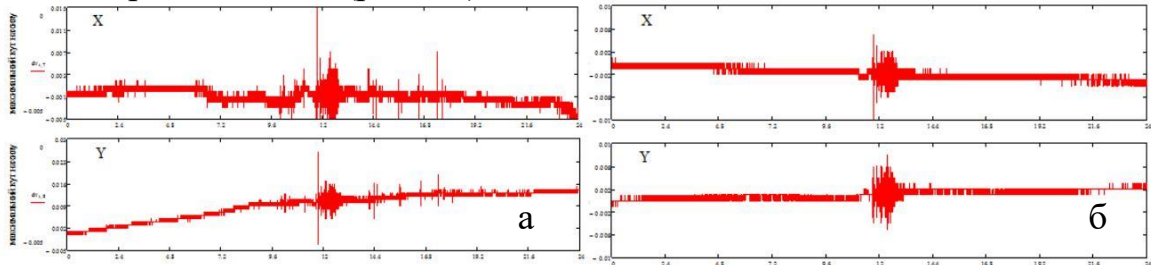


Рис. 15 Часові серії зміни кутів нахилу по осях «X» та «Y» а - для станції «Візит»; б - для станції «Модричі» на 23. 01. 2018 р

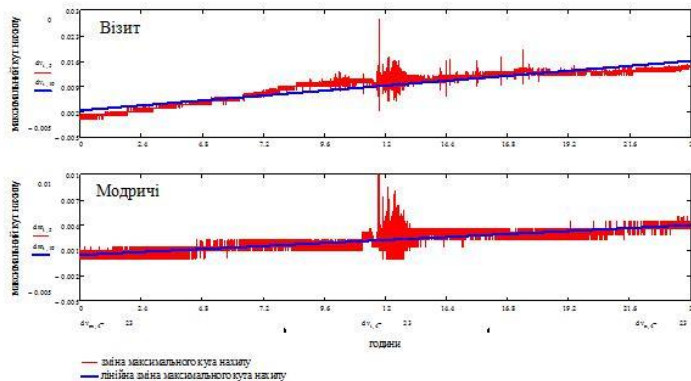


Рис. 16 Зміна максимального кута нахилу нахиломірних станцій
на 23. 01. 2017 року

Для кожного виміру часової серії зміни максимального кута нахилу складені відповідні рівняння $i = Vt + b$. Використовуючи спосіб найменших квадратів, знайдено коефіцієнти цих рівняння V та b .

За цими коефіцієнтами були обчислені модельні значення зміни максимального кута нахилу часової серії:

$$i_{\text{модел}} = Vt + b. \quad (17)$$

За різницею $\delta_i = i_{\text{модел}} - i$ визначено точність зміни максимального кута нахилу.

$$m_i = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-2}} \quad (18)$$

Аналогічні рівняння складено для кожної з осей «X» та «Y» та за формулою (12) знайдено зміну азимуту максимального кута нахилу α_{\max} та СКП його визначення $m_{\alpha_{\max}}$

$$\alpha_{\max} = \arctg \frac{i_y}{i_x}; m_{\alpha} = \frac{\sqrt{i_y^2 m_x^2 + i_x^2 m_y^2}}{i_x^2 + i_y^2}$$

На графіках (рис. 17 – 19) наведені обчислені результати для нахиломірних станцій «Візит» та «Модричі» за період з 31.12.2017 по 03.02.2018 року.

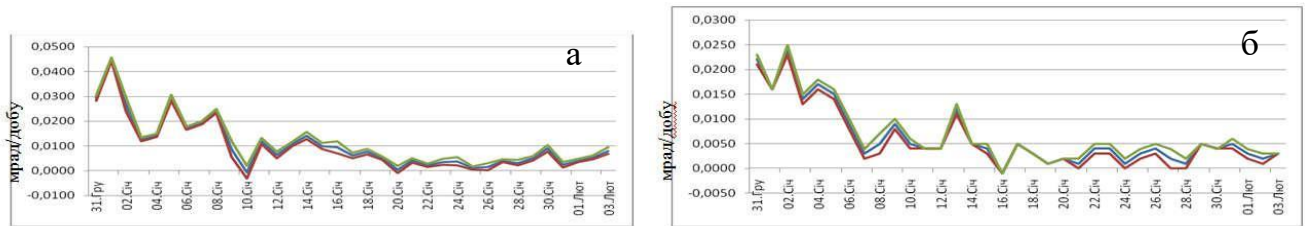


Рис.17 Зміна середньодобової швидкості максимального кута нахилу (а - на станції "Візит" б - на станції "Модричі") та точність їх визначення

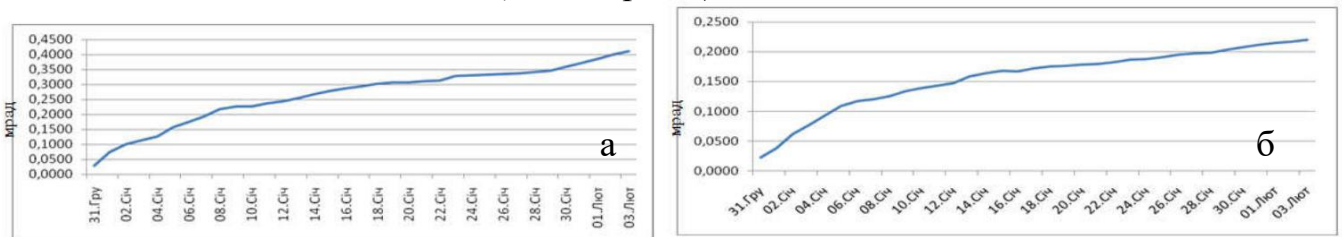


Рис.18 Зміна величини кута нахилу (а - на станції "Візит" б - на станції "Модричі")

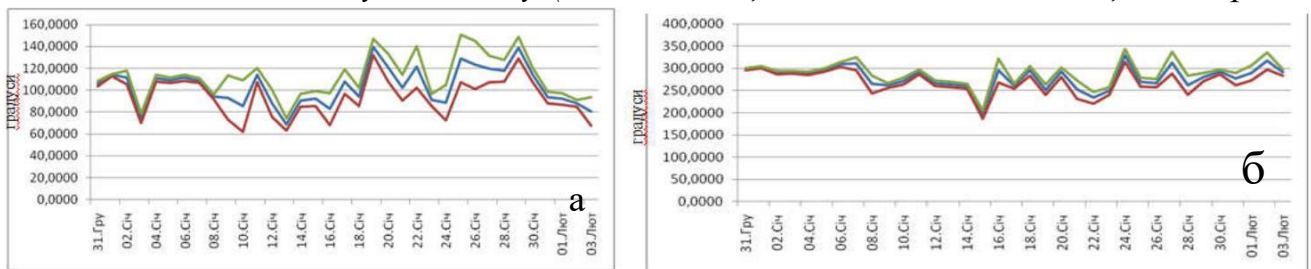


Рис.19 Зміна азимуту максимального кута нахилу (а - на станції "Візит" б - на станції "Модричі") та точність їх визначення

На основі одержаних результатів нами було проведено умовне районування території шахтного поля на два блоки з різним напрямком нахилу, які утворюють прогин території західного флангу рудника №2 (рис. 20). Величини осідань, які обчислені за формулою (14) у місці імовірної лінії поділу території на блоки, становлять 50 мм та 60 мм на рік відповідно від станції «Візит» та «Модричі», що підтверджено результатами моніторингу з використанням інтерферометричних методів обробки супутникових радарних вимірювань (рис. 21).

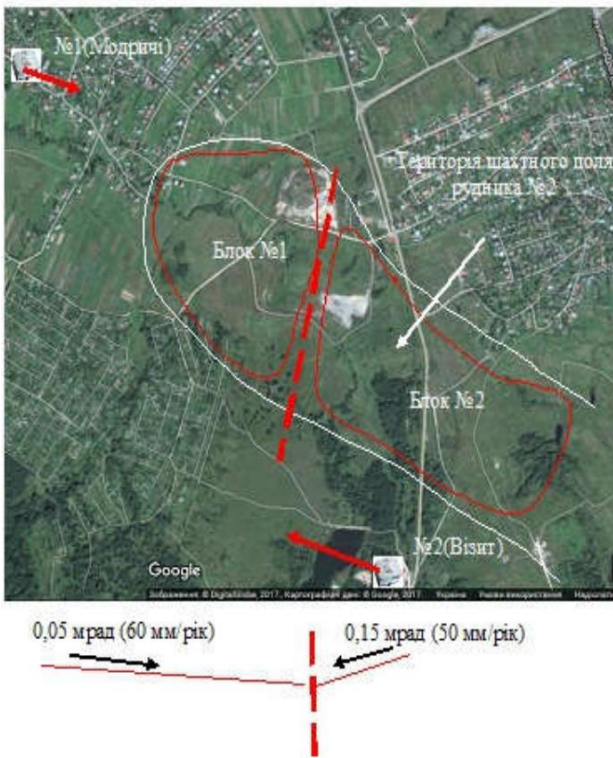


Рис. 20 Середні напрямки максимального кута нахилу зафіксовані нахиломірними станціями «Візит» і «Модричі», імовірна лінія поділу території на блоки та величина осідання території шахтного поля

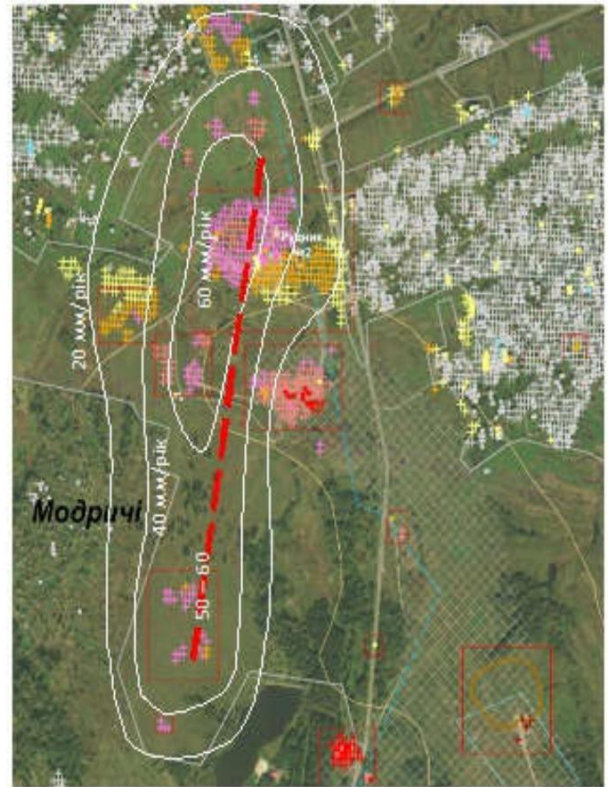


Рис. 21 Ізолінії швидкості вертикальних зміщень, імовірна лінія поділу території на блоки та величини осідання території

За даними одночасних спостережень декількох нахиломірних станцій можливе визначення місць локальних підземних деформаційних процесів. Стрибки максимального кута нахилу, які фіксуються нахиломірними станціями (рис. 16), очевидно пов'язані з руйнівними процесами, які відбуваються у гірничих виробітках. За даними одночасних спостережень двох нахиломірних станцій з'являється можливість визначити місцеположення джерела коливаних максимального кута нахилу (рис. 22).

Для знаходження місця підземного обвалу нам необхідно знати такі величини:

- Координати місць встановлення інклінометрів №1 та 2;
- Величини азимутів максимальних коливаних φ_1, φ_2 .

За цими даними із розв'язку прямої кутової засічки можна отримати координати місця розташування підземного обвалу. Знаходження величин азимутів максимальних коливаних φ_1, φ_2 для обох нахиломірних станцій здійснюється за такою методикою.

На першому етапі з часових серій зміни максимального кута нахилу нахиломірних станцій вибирають події коливання які є більшими за фонові (0,05 мрад) та фіксують час початку та кінця події для обох нахиломірних станцій (рис. 23).

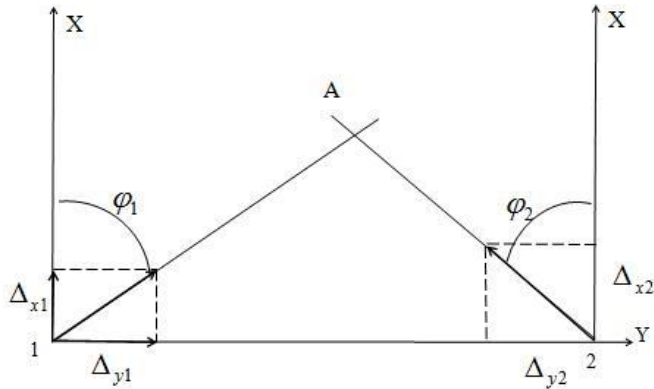


Рис. 22 Пояснення до методики визначення місця розташування підземних обвалів

Після чого знаходимо спільні інтервали (рис. 23, інтервал 42199 – 42299) для обох нахиломірних станцій, коли коливання є більшими за фоніві. У таких інтервалах фіксують усі коливання вздовж осей X та Y та знаходять середні значення зміни максимального кута нахилу $i_{xi\text{ сеп}}$, $i_{yi\text{ сеп}}$, а також відхили від середнього значення зміни максимального кута нахилу Δ_{xi} , Δ_{yi} (рис. 24).

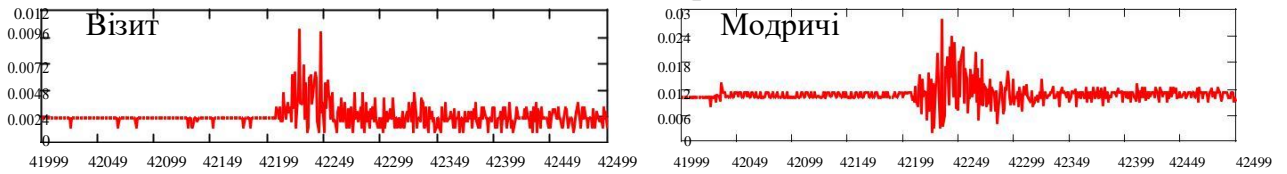


Рис 23 Часові серії зміни максимального кута нахилу нахиломірних станцій з коливаннями більшими за фоніві зафіксовані 23.01.2018р.

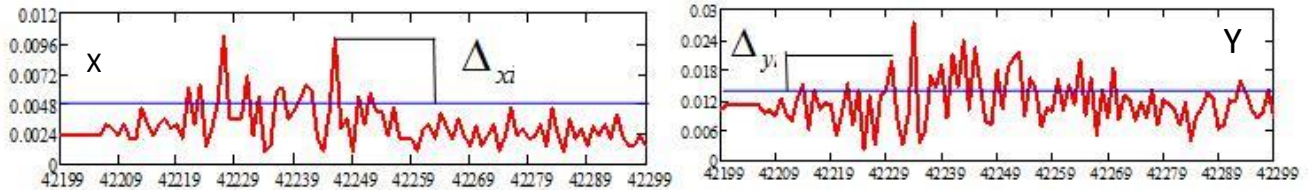


Рис. 24 Визначення величин Δ_{xi} , Δ_{yi} у вибраному інтервалі для нахиломірної станції «Візит»

Використовуючи величини Δ_{xi} , Δ_{yi} за формулами (19) обчислюють коваріаційні матриці (K) для обох станцій:

$$\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_x^2}{n}}; \sigma_{\Delta y} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_y^2}{n}}; K_{\Delta x \Delta y} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_x \Delta_y}{n}}; K = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta x} & K_{\Delta x \Delta y} \\ K_{\Delta x \Delta y} & \sigma_{\Delta y} \end{bmatrix}, \quad (19)$$

де n – кількість вимірів відхилів від середнього значення зміни максимального кута нахилу Δ_{xi} , Δ_{yi} у вибраному інтервалі.

У подальшому знаходять власні числа коваріаційних матриць для обох станцій, які ототожнюють з великою та малою піввіссю еліпса. Велика піввісь a характеризує величину («бал події»), а кут, утворений напрямком великої півосі та осі X, є азимутом максимального коливання φ . Під «балом події» розуміємо величину амплітуди коливання зафіксовану інклінометром. Один бал відповідає величині 0,001 мрад. За величинами азимутів максимальних коливань та відомими координатами нахиломірних станцій обчислюємо координати місць підземних обвалів. За час проведення нахиломірних спостережень (26.12.17 – 03.02.18) зафіксовано цілий ряд підземних обвалів на території рудника №2.

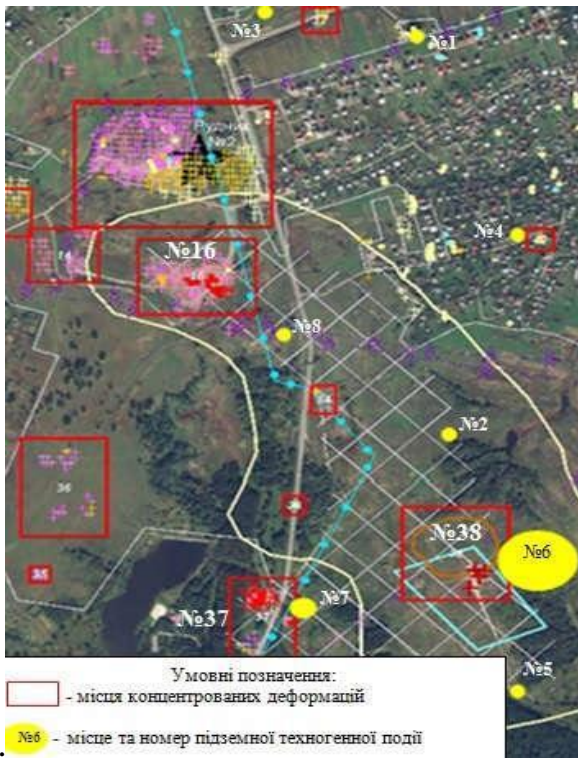


Рис. 25 Територія рудника №2 з вказаними зонами де відбуваються підземні обвали

На рис. 25 зображено досліджувану територію рудника №2 з нанесеними місцями концентрованих деформацій земної поверхні, одержаних з аналізу результатів інтерферометричної обробки радарних вимірювань (червоні квадрати), та місцями підземних обвалів, які зафіксовані нахиломірними станціями (жовті кола). Цілий ряд підземних обвалів (№№1, 4, 6, 7, 8), які зафіксовані нахиломірними станціями, розташовані поблизу зон деформацій земної поверхні, одержаних за даними обробки супутникових радарних вимірювань. Причому підземні обвали з більшим балом розташовані в районах найбільш небезпечних зон №16, №37, №38, визначених за даними супутникового радарного моніторингу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практичне завдання підвищення точності та достовірності результатів моніторингових досліджень вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій геодезичними та геотехнічними методами для врахування впливу геодинамічних процесів, які відбуваються на цих територіях. В руслі даного напрямку отримано наступні результати:

1. Проведено класифікацію геодезичних методів моніторингу вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій з врахуванням геодинамічних процесів різного характеру впливу. На основі критичного аналізу доведена ефективність використання комплексу геодезичних та геотехнічних методів для моніторингу на локальних геодинамічних полігонах.

2. Розроблена методика опрацювання ГНСС – вимірів на кінематичних геодезичних мережах з врахуванням коефіцієнтів кінематики геодезичних пунктів, яка апробована на мережі Канівської ГЕС, що дозволяє ефективно вирішувати задачі геодезичного моніторингу з врахуванням впливу геодинамічних явищ на досліджувану територію, без використання дороговартісного програмного забезпечення Bernese.

3. На прикладі опорної висотної мережі Рівненської АЕС досліджена кінематика реперів (визначені величини вертикальних зміщень, тривалість періоду та розмах коливань), на основі чого проведено групування реперів за кінематичними характеристиками та здійснено районування території об'єкту на три блоки за спільними швидкостями і напрямками руху земної кори.

4. Запропонована методика визначення нахилів поверхні у межах жорсткої моделі за результатами нахиломірних вимірів інклінометрами, яка може бути використана

для районування техногенно-навантажених територій за кінематичними характеристиками та проведена її апробація на території шахтних полів рудника №2 Стебницького калійного родовища. За одержаними даними проведений поділ території на два блоки з різним напрямком нахилу та його величиною, які утворюють прогин території шахтного поля рудника №2.

5. Розроблена методика визначення місць імовірних підземних обвалів за результатами нахиломірних спостережень, яка практично апробована під час моніторингу території рудника №2 Стебницького калійного родовища. Встановлено, що підземні обвали у 75 % випадків знаходяться поблизу зон деформацій земної поверхні, які визначені за даними опрацювання супутникових радарних вимірювань.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних

1. Третьяк К. Р. Аналіз стійкості пунктів системи автоматизованого геодезичного моніторингу інженерних споруд Канівської ГЕС /К. Р. Третьяк, С. Л. Петров, Ю. І. Голубінка, Ф.К.Ф. Аль-Алусі// Геодезія, картографія та аерофотознімання, Л.: вид-во Львівської політехніки. – 2015.– Вип.80. – С. 5 – 19.
2. Заяць О. С. Високоточні нахиломірні вимірювання для моніторингу території шахтних полів рудника № 2 Стебницького калійного родовища /Заяць О. С., Наводич М. Б., Петров С. Л., Третьяк К. Р.// Науковий журнал “Геодинаміка” – Львів. –2017.–№ 2 (23) – С. 25–33.
3. K. Tretyak Kinematics of Reference Height Network on The Territory of Rivne NPP /K. Tretyak, S. Petrov, S. Bokhonko, L. Babiy, O. Shpakivsky// Reports on Geodesy and Geoinformatics. – 2014. – vol. 96. –pp. 55-66 : DOI: [10.2478/rgg-2014-0006](https://doi.org/10.2478/rgg-2014-0006).

Статті у фахових виданнях України:

4. Мордвінов І. С. Моніторинг вертикальних зміщень території ГХП «Полімінерал» з використанням інтерферометричних методів обробки супутникових радарних вимірювань та нахиломірних спостережень /Мордвінов І. С., Пакшин М. Ю., Ляска І. І., Заяць О. С., Петров С. Л., Третьяк К. Р.// Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва – Л. – 2018. – Вип. I (35).– С. 70–75
5. Петров С. Л. Сумісне опрацювання результатів високоточного геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів /С. Л. Петров// Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – випуск I (29). – Л. – 2015. – С.70–75
6. Дейнека Ю. Геодезичний моніторинг горизонтальних зміщень перекриття водозливної греблі Добротвірської ТЕС /Дейнека Ю., Петров С.// Геодезія, картографія та аерофотознімання, Л.: вид-во Львівської політехніки. – 2007.– вип. 69. С. 105–109.
7. Дейнека Ю. Досвід виконання геодезичного контролю за технічним станом об'єктів паливно-енергетичного комплексу /Ю. Дейнека, Р. Озімбловський, С. Петров// Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва – № I (27). – Л.– 2014. – С. 59–61.

АНОТАЦІЯ

Петров С. Л. Моніторинг вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій геодезичними методами. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія». – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України. Львів, 2018.

Дисертація присвячена дослідженням вертикальних зміщень техногенно-навантажених територій геодезичними методами з врахуванням геодинамічних процесів різного характеру впливу. Проведена класифікація геодезичних методів визначення вертикальних зміщень. Встановлено, що основним недоліком цих методів є дискретність одержуваної інформації. На основі проведеної класифікації цифрових інклінометрів зроблені висновки про подальші напрямки використання в автоматизованих системах моніторингу техногенно-навантажених територій.

З метою врахуванням геодинамічних процесів різного характеру впливу розроблено методику опрацювання ГНСС – вимірів на кінематичних геодезичних мережах з врахуванням коефіцієнтів кінематики геодезичних пунктів. Запропонована методика апробована на опорній мережі системи автоматизованого геодезичного моніторингу інженерних споруд Канівської ГЕС. Використання цієї методики опрацювання ГНСС – вимірів без прив'язки до перманентних станцій мережі ITRF, дозволяє ефективно вирішувати задачі з врахування впливу геодинамічних явищ локального характеру на досліджувану територію.

На прикладі опорної висотної мережі Рівненської АЕС за даними повторних висотних вимірів проведено групування реперів за кінематичними характеристиками та реалізована методика районування території геодинамічного полігону.

Для підтвердження можливості використання геотехнічних методів у поєднанні з геодезичними методами в автоматизованих системах моніторингу розроблена методика сумісного опрацювання результатів геометричного нівелювання та вимірів інклінометрами. Ця експериментально перевірена методика доводить, що нахиломірні виміри можуть бути використані в комплексних автоматизованих системах моніторингу техногенно-навантажених територій, для визначення фонових (у межах жорсткої моделі) нахилів земної поверхні поряд з високоточним геометричним, гідростатичним чи гідродинамічним нівелюванням, які визначають аномальні (деформаційні) зміни земної поверхні.

Для вивчення та прогнозування руйнівних процесів на території у межах гірничого відводу шахтних полів рудника № 2 Стебницького калійного родовища створена система автоматизованого моніторингу, яка включає дві нахиломірні станції. Вона дозволяє в режимі реального часу одержувати інформацію про величину та швидкість зміни максимального кута нахилу території та його азимут. Ці результати дозволили розробити методику визначення місць імовірних підземних обвалів.

Ключові слова: техногенно-навантажені території, коефіцієнт кінематики геодезичних пунктів, кінематичні характеристики, районування території, цифрові інклінометри, нахиломірні виміри, кут нахилу території, імовірні підземні обвали.

АННОТАЦИЯ

Петров С. Л. Мониторинг вертикальных смещений техногенно-нагруженных территорий геодезическими методами. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 «Геодезия, фотограмметрия и картография». – Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины. Львов, 2018.

Диссертация посвящена исследованию вертикальных смещений техногенно-нагруженных территорий геодезическими методами с учетом геодинамических процессов различного характера влияния. Проведена классификация геодезических методов определения вертикальных смещений. Установлено, что основным недостатком этих методов является дискретность получаемой информации. На основе проведенной классификации цифровых инклинометров сделаны выводы о дальнейших направлениях использования в автоматизированных системах мониторинга техногенно-нагруженных территорий.

С целью учета геодинамических процессов различного характера влияния разработана методика обработки ГНСС – измерений на кинематических геодезических сетях с учетом коэффициентов кинематики геодезических пунктов. Предложенная методика апробирована на опорной сети системы автоматизированного геодезического мониторинга инженерных сооружений Каневской ГЭС. Использование методики обработки ГНСС – измерений без привязки к перманентным станциям сети ITRF позволяет эффективно решать задачи по учету влияния геодинамических явлений локального характера на исследуемую территорию.

На примере опорной высотной сети Ровенской АЭС по данным повторных высотных измерений проведено группирование реперов по кинематическим характеристикам и реализована методика районирования территории техногенного геодинамического полигона.

Для подтверждения возможности использования геотехнических методов в сочетании с геодезическими методами в автоматизированных системах мониторинга разработана методика совместной обработки результатов геометрического нивелирования и измерений инклинометрами. Эта экспериментально проверенная методика показывает, что наклономерные измерения могут быть использованы в комплексных автоматизированных системах мониторинга техногенно-нагруженных территорий для определения фоновых (в пределах жесткой модели) наклонов земной поверхности наряду с высокоточным геометрическим, гидростатическим или гидродинамическим нивелированием, которые определяют аномальные (деформационные) изменения земной поверхности.

Для изучения и прогнозирования разрушительных процессов на территории в пределах горного отвода шахтных полей рудника № 2 Стебницкого калийного месторождения создана система автоматизированного мониторинга, которая состоит из двух наклономерных станций. Она позволяет в режиме реального времени получать информацию о величине и скорости изменения максимального

угла наклона территории и его азимут. Эти результаты позволили разработать методику определения мест возможных подземных обвалов.

Ключевые слова: техногенно-нагруженные территории, коэффициент кинематики геодезических пунктов, кинематические характеристики, районирование территории, цифровые инклинометры, наклономерные измерения, угол наклона территории, возможные подземные обвалы.

ANNOTATION

Petrov S. L. Monitoring of vertical displacement of technogenic-loaded territories by geodetic methods. – On the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.24.01 "Geodesy, photogrammetry and cartography". – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine. Lviv, 2018.

The dissertation is devoted to research of vertical displacements of technogenic-loaded territories by geodetic methods taking into account geodynamic processes with different character of the influence. The classification of geodetic methods for determining vertical displacements is carried out. It is established that the main disadvantage of these methods is the discreteness and stippling of the received information. On the basis of implemented classification of digital inclinometers, conclusions about the further directions of use in automated monitoring systems of technogenic-loaded territories were made. In order to consider geodynamic processes with different nature of influence, there was developed the method of processing of GNSS measurements on kinematic geodetic networks with the consideration of kinematics coefficients of geodesic points. The proposed method was tested on the reference network of the system of automated geodetic monitoring of engineering structures of Kaniv HPP. The application of the methodology of processing of GNSS measurement without reference to the permanent stations of the ITRF network allows us to effectively solve problems with considering the influence of geodynamic phenomena of local character on the investigated territory.

On the example of the reference high-altitude network of Rivne NPP, the method of mathematical zoning of the territory of technogenic geodynamic landfills according to the data of repeated altitudinal measurements was implemented. On this base the bench mark grouping was performed according to the kinematic characteristics and zoning of the object's territory.

The method for joint processing of results of geometric leveling and measurements by inclinometers was developed for confirmation of the possibility of using geotechnical methods in conjunction with geodetic methods in automated monitoring systems. This technique was experimentally tested, the results of the experiment proved that the tilt measurements can be used in complex automated monitoring systems of technogenic-loaded territories, for determination of the background (within the rigid model) tilts of the earth's surface, along with high-precision geometric, hydrostatic or hydrodynamic leveling, which determine abnormal (deformational) changes of the earth's surface.

For the study and forecasting of destructive processes on the territory within the mining fields of the mine №.2 of Stebnyk potassium deposit, the system of automated monitoring has been created. It consists of two tilt-shaped stations and allows to receive real-time information about the magnitude and rate of change in the maximum angle of the

terrain and its azimuth. These results allowed to develop a methodology for determining the locations of probable underground cave-in.

Keywords: technogenic-loaded territories, coefficient of kinematics of geodetic points, kinematic characteristics, zoning of territory, digital inclinometers, tilting measures, tilt angle of the territory, probable underground cave-in.