

## СУМІСНЕ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИСОКОТОЧНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ ТА НАХИЛОМІРНИХ ВИМІРІВ

С. Петров

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** деформації, інклінометр, сумісне опрацювання нівелювання та нахиломірних вимірів, вага вимірної величини.

### Постановка проблеми

Безпека експлуатації інженерних споруд та технологічного обладнання об'єктів паливно-енергетичного комплексу, таких як атомні електростанції (АЕС), вимагає періодичного ведення їх моніторингу, а саме визначення їх деформацій [1, 6]. Деформація – це найзначущіший параметр, який підлягає контролю. Моніторинг деформацій цих споруд є однією зі сфер застосування високоточних геодезичних методів і засобів вимірювань. Під моніторингом розуміють спостереження за навколишнім середовищем, що являє собою динамічну систему, тобто систему, яка постійно змінюється, з метою її контролю, вивчення і прогнозу.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Для моніторингу використовують прилади, що дають змогу отримувати просторову вимірну інформацію безперервно і в автоматизованому режимі (супутникові геодезичні приймачі, роботизовані електронні тахеометри). Крім цих класичних геодезичних приладів, використовують високоточні інклінометри [8, 9, 11]. Принцип їх роботи – оптико-електронна реєстрація сигналу всередині приладу, тоді як дія аналогічних пристроїв основана на реєстрації електричного опору між контактами первинного перетворювача, що змінюються пропорційно до нахилу. До переваг саме оптико-електронного принципу належить те, що він забезпечує безперервну реєстрацію кутів нахилу у двох площинах з роздільною здатністю 0,001 мрад.

Сьогодні інклінометри широко використовують у практиці інженерно-геодезичних робіт. Їх застосовують для безперервних або періодичних спостережень за просторовим положенням мостових конструкцій, висотних будівель, гребель гідротехнічних споруд та пілонів базових станцій ГНСС [2, 4, 10]. Також інклінометри використовують для вивчення сейсмічних та вулканічних територій, а також районів видобутку корисних копалин [3, 5, 13]. Використання інклінометрів у поєднанні з акселерометрами та термометрами уможливило вивчення поведінки висотних споруд (вітряки, щогли, антенні вежі тощо) під час динамічних навантажень [7, 12].

Незважаючи на очевидні досягнення, варто відзначити певні труднощі у застосуванні систем моніторингу деформацій споруд з використанням інклінометрів. По-перше, все ще відсутні детально задокументовані методи створення таких систем, що перешкоджає їх подальшому розвитку. По-друге, наявні системи моніторингу передбачають лише визначення критичних деформацій споруд, тоді як інформації, що надходить, достатньо для проведення глибокого аналізу поведінки споруд.

### Постановка завдання

Для спостереження за деформаціями інженерних споруд та технологічного обладнання об'єктів паливно-енергетичного комплексу переважно використовують метод високоточного геометричного нівелювання. Недоліком цього методу є дискретність одержуваної інформації. Застосування інклінометрів під час вимірювань та між циклами спостережень може дати повне уявлення про динамічні процеси, які відбуваються на території проведення робіт. Необхідно зазначити, що поєднання цих методів можливе лише тоді, коли досліджувана територія являє собою жорстку основу. Це може бути фундамент технологічного обладнання інженерної споруди або земна поверхня в межах суцільної тектонічної плити.

### Виклад основного матеріалу

З цією метою ми розробили макетний зразок жорсткої основи для дослідження точності визначення висот, одержаних методом високоточного геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів інклінометрами, а також для розроблення методики сумісного опрацювання цих результатів. Для цього проведено експеримент, який полягав у визначенні перевищень, встановлених методом високоточного геометричного нівелювання та за допомогою нахиломірних вимірювань.

Для проведення експерименту змонтовано металеву раму перерізом (4×4 см) у вигляді прямокутника розміром 5,92×6,00 м. Рама була встановлена на чотири кронштейни, закріплені в стінах та колонах приміщення (рис. 1). Два кронштейни були закріплені в стіні жорстко, а інші два оснащені мікрометричними гвинтами для зміщення (підняття чи опускання) усієї конструкції у межах 3 см (рис. 2). Величину зміщення задавали за допомогою індикатора годинникового типу ( $m_h = 0,01$  мм).

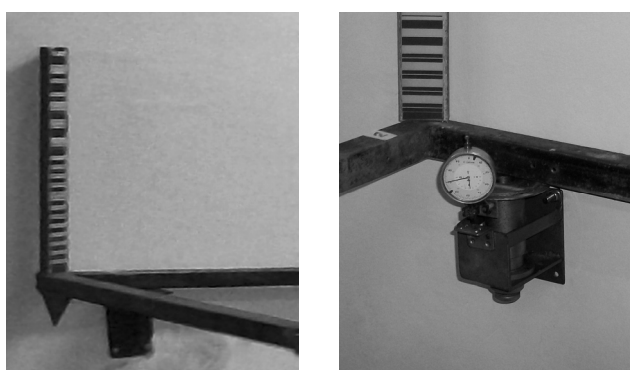


Рис. 1. Розташування рами у приміщенні



Рис. 3. Інклінометр встановлений на рамі та під'єднаний до комп'ютера.

В загальному вигляді конструкція наведена на рис. 4



а

б

Рис. 2. Кронштейни закріплені в стіні:

а – жорстко, б – з мікрометричним гвинтом

На двох протилежних сторонах рами встановлено інклінометри (рис. 3), так, щоб вісь нахилу  $X$  була паралельна до сторони рами. Інклінометр через комунікаційний “COM” порт та за допомогою кабелю під'єднаний до комп'ютера, а також до джерела живлення 12 В (рис. 3). Для передавання даних та їх опрацювання використано програмне забезпечення “NIVEL 210 Data Reader”, яке дає змогу не тільки переглядати, записувати та відображати результати в реальному часі, але й опрацьовувати їх та подавати у зручному для спостерігача вигляді. Для проведення нівелювання на кутах рами закріплено рейки завдовжки 0,7 м з наклеєними сканами кодових рейок (рис. 2) та використано чотири цифрові нівеліри Trimble DiNi 03 ( $m_h = 0,3$  мм/км) (рис. 1). Завдяки синхронізації годинників комп'ютерів та цифрових нівелірів дані нівелювання та нахиломірних вимірів ми одержували в один момент часу періоду проведення експерименту.

Експеримент проводився упродовж усього 18.04–25.04.2014 р. Під час експерименту цифрові інклінометри працювали безперервно, а нівеліри проводили вимірювання в автоматичному режимі щоденно 3–4 години. Кожного дня за допомогою кронштейнів з мікрометричними гвинтами та індикаторів годинникового типу задавали нахил конструкції з різним кроком (1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм) та різним інтервалом часу (15 хв, 10 хв, 5 хв).

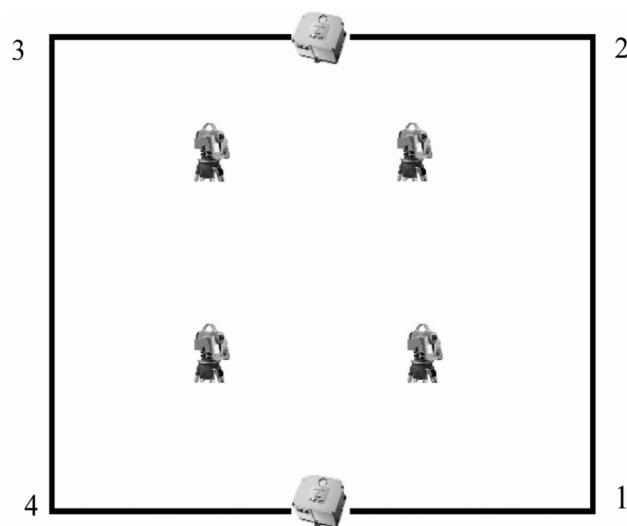


Рис. 4. Схема конструкції для проведення експерименту:

1 та 2 – кронштейни з мікрометричними гвинтами;  
3 та 4 – кронштейни, закріплені жорстко;



– місця розташування нівелірів;



– місця розташування інклінометрів

У результаті експерименту одержано добові файли нахиломірних спостережень з інтервалом вимірів 0,2 с, що являють собою величину нахилу по осі  $X$ , по осі  $Y$  та температуру під час вимірювань (за час проведення експерименту температура змінювалася в межах 15–16 °С). Також одержано щоденні файли вимірювання зміни висот кожної з точок, визначені геометричним нівелюванням.

#### Методика

Оскільки інклінометр вимірює кути нахилу, а не перевищення, як нівелір, перед початком розроблення методики сумісного врівноваження необхідно знайти залежності між перевищеннями та кутами нахилу. Нехай у точці 1 (рис. 5) встановлено інклінометр, який зафіксував кути нахилу по осях  $X$  та  $Y$  відповідно  $i_x$  та  $i_y$ .

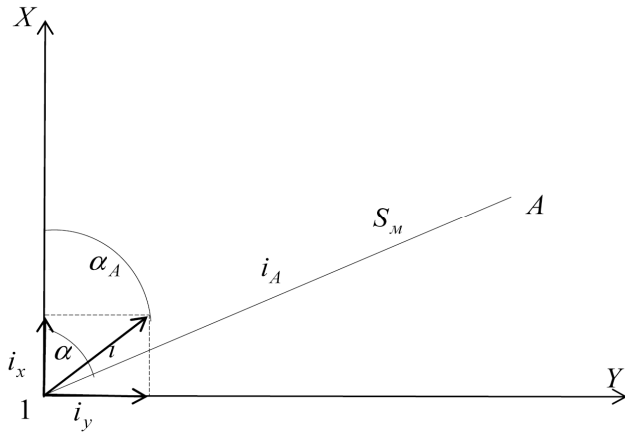


Рис. 5. Пояснення до визначення залежності між перевищеннями та кутами нахилу

Для того, щоб обчислити величину перевищення до будь-якої точки  $A$ , необхідно знайти максимальне значення кута нахилу  $i$

$$\sqrt{i_x^2 + i_y^2} \quad (1)$$

далі знаходимо напрямок максимального кута нахилу  $\alpha$  відносно осі  $X$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{i_x}{i_y}\right). \quad (2)$$

Після цього можна обчислити величину кута нахилу  $i_A$  на будь-яку точку  $A$

$$i_A = i \cdot \cos(\alpha_A - \alpha), \quad (3)$$

де  $\alpha_A$  – кут між віссю  $X$  та напрямком на точку  $A$ , а також перевищення  $h_{MM}$  до цієї точки

$$h_{MM} = i_A \cdot S_M, \quad (4)$$

де  $S_M$  – відстань від точки встановлення інклінометра до точки  $A$ , м.

Обчислення перевищень за формулами (1)–(4) є коректним у випадку, коли інклінометр, встановлений в точці 1, нерухомий. У випадку коли інклінометр зазнає зміщень (нахилу) разом з будь-якою точкою  $A$ , необхідно знайти величину нахилу самого інклінометра  $\delta_x$  та  $\delta_y$  (рис. 6)

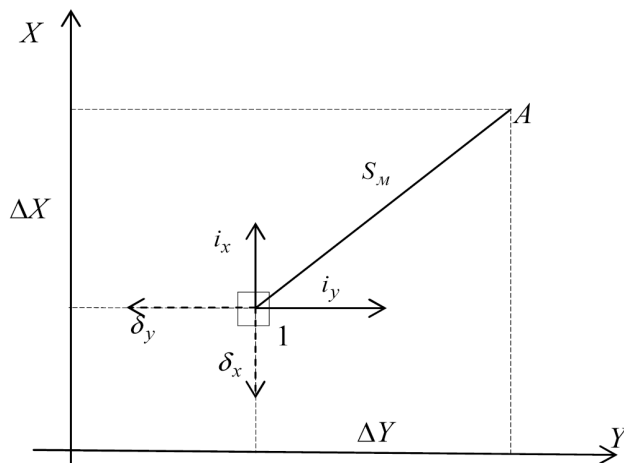


Рис. 6. Пояснення до визначення перевищення з урахуванням величини нахилу самого інклінометра

$$\delta_x = -i_x, \quad \delta_y = -i_y, \quad (5)$$

а також величину зміни перевищення точки  $A$  за рахунок нахилу інклінометра по осі  $X$  та  $Y$

$$\delta h_x = \delta_x \Delta X, \quad \delta h_y = \delta_y \Delta Y, \quad (6)$$

де  $\Delta X$  та  $\Delta Y$  – проекція відстані  $S_M$  на осі  $X$  та  $Y$ .

Тоді перевищення будь-якої точки з урахуванням нахилу самого інклінометра  $h_{заг}$  дорівнюватиме

$$h_{заг} = h_{MM} + \delta h_x + \delta h_y. \quad (7)$$

Сумісне врівноваження виконано параметричним методом. Поправки до наближених значень висот невідомих точок  $x$  знаходять за виразом

$$x = -(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{L}), \quad (8)$$

де  $\mathbf{A}$  – матриця коефіцієнтів при поправках до висот невідомих точок;  $\mathbf{P}$  – вагова матриця;  $\mathbf{L}$  – вектор вільних членів.

Матриця  $\mathbf{A}$  в нашому випадку матиме такий вигляд

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Перший блок матриці  $4 \times 6$  містить коефіцієнти при поправках до висот невідомих точок для першого інклінометра, другий блок – для другого інклінометра та третій блок – для нівелірів.

Оскільки під час врівноваження ми маємо справу з різнотипними вимірами (висоти визначені з геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів), вага вимірів, одержаних з геометричного нівелювання, обчислюватиметься за формулою

$$P = \frac{c}{m_h^2}, \quad (9)$$

де  $m_h$  – середньоквадратична помилка взяття відліку нівеліром (0.03 мм), а для нахиломірних вимірів

$$m_h = m_i \cdot S, \quad (10)$$

де  $m_i$  – середньоквадратична помилка вимірювання кута нахилу інклінометром;  $S$  – відстань від інклінометра до точки, м.

Вектор вільних членів  $\mathbf{L}$  являє собою різницю наближених висот точок та висот відповідних циклів спостережень.

Оцінку точності результатів опрацювання спостережень виконуємо за формулою

$$m_H = \mu \sqrt{Q_{Hil}}, \quad (11)$$

де  $Q_{Hil}$  – відповідний діагональний елемент кореляційної матриці вимірювань;  $\mu$  – середня квадратична помилка одиниці ваги.

**Результати**

Продовження табл. 2

Вихідними даними для сумісного опрацювання результатів нівелювання та нахиломірних вимірів слугували висоти точок, визначені з геометричного нівелювання, кути нахилу конструкції по осях  $X$  та  $Y$ , а також координати точок 1–4 та місць розташування інклінометрів. Запропоновану методику й алгоритм обчислень реалізовано в пакеті MathCad.

Як зазначено вище, важливе значення для сумісного врівноваження має правильний вибір ваги вимірних величин, особливо це стосується результатів, одержаних інклінометрами. В табл. 1 наведено значення зміни висоти та середньоквадратичної помилки її визначення в одному циклі спостережень після врівноваження за різних величин середньоквадратичної помилки вимірювання кута нахилу інклінометром  $m_i$ .

Таблиця 1

**Залежність зміни висоти та її СКП від величини СКП вимірювання кута нахилу інклінометром  $m_i$**

$m_i$ , мрад	Зміна висоти точок, мм				СКП визначення зміни висоти точок, мм
	1	2	3	4	
0,005	0,387	0,679	-0,336	0,270	0,603
0,007	0,308	0,753	-0,272	0,211	0,462
0,009	0,242	0,812	-0,217	0,163	0,385
0,01	0,215	0,836	-0,194	0,143	0,358
0,05	0,014	1,000	-0,014	-0,000	0,098
0,1	0,004	1,007	-0,003	-0,007	0,050

Як видно з одержаних результатів, оптимальне значення середньоквадратичної помилки вимірювання кута нахилу інклінометром для умов експерименту –  $m_i = 0,05$  мрад.

У табл. 2 подано зміни висот точок після сумісного врівноваження результатів декількох вимірів за три дні спостережень з різним кроком зміни висоти та їх середньоквадратичну помилку визначення. Крім того, в табл. 3 наведено величини відхилення зміни висоти від еталонного значення. Аналізуючи дані табл. 3, можна зробити висновок, що відхилення зміни висоти точок після сумісного врівноваження коливається в межах 0,02–0,06 мм (за винятком декількох циклів спостережень, у яких ці величини становлять 0,1–0,2 мм з технічних причин). Це свідчить про те, що наш макетний зразок – не зовсім жорстка основа. Середньоквадратичні помилки визначення положення інклінометрів, які змінюються у межах 0,1–0,3 мм, також підтверджують це припущення.

Таблиця 2

**Зміна висоти точок та їх СКП**

Дата та час вимірювань	Зміна висоти точок, мм				СКП визначення зміни висоти точок, мм
	1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6
<b>18.04.2014</b>	<b>крок зміни висоти 1 мм</b>				
9:45:00	0,014	1,000	-0,014	-0,000	0,098
10:00:00	0,992	0,006	0,010	0,082	0,110
10:15:00	0,023	0,991	-0,027	-0,087	0,096
10:30:00	0,912	0,004	0,011	0,103	0,103
10:45:00	0,152	0,992	-0,015	0,012	0,104

1	2	3	4	5	6
11:00:00	1,067	-0,005	0,011	-0,003	0,106
11:15:00	-0,217	1,009	-0,017	0,006	0,099
11:30:00	1,058	-0,005	0,001	-0,005	0,107
11:45:00	0,016	1,000	-0,015	0,009	0,099
12:00:00	0,921	0,004	0,009	-0,013	0,092
<b>22.04.2014</b>	<b>крок зміни висоти 0,5 мм</b>				
8:29:00	0,002	-0,505	0,008	-0,005	0,052
8:39:00	-0,562	0,022	-0,007	0,007	0,056
8:49:00	-0,008	-0,496	0,008	-0,004	0,051
8:59:00	-0,485	0,003	0,004	-0,002	0,050
9:09:00	0,011	-0,515	-0,002	-0,005	0,051
9:19:00	-0,466	-0,007	0,004	-0,061	0,052
9:29:00	-0,006	-0,495	0,009	0,063	0,047
9:39:00	-0,524	0,012	-0,006	-0,002	0,055
9:49:00	-0,008	-0,505	0,017	-0,005	0,050
9:59:00	-0,475	0,003	-0,005	0,017	0,047
<b>23.04.2014</b>	<b>крок зміни висоти 0,25 мм</b>				
8:09:00	-0,023	-0,248	0,014	0,007	0,025
8:14:00	-0,199	-0,003	-0,003	-0,065	0,026
8:19:00	0,006	-0,247	0,005	0,066	0,024
8:24:00	-0,198	-0,003	-0,002	0,003	0,020
8:29:00	-0,025	0,267	-0,005	0,002	0,027
8:34:00	0,247	0,003	0,003	-0,013	0,023
8:39:00	-0,006	0,238	-0,004	0,002	0,025
8:44:00	0,198	0,003	0,002	0,017	0,021
8:49:00	0,004	0,248	-0,004	-0,017	0,024
8:54:00	0,247	-0,006	0,003	0,006	0,026

Таблиця 3

**Відхилення зміни висоти від еталонного значення**

Дата та час вимірювань	Відхилення зміни висоти, мм			
	1	2	3	4
<b>18.04.2014</b>	<b>еталонне значення 1 мм</b>			
9:45:00	-0,014	0,000	0,014	0,000
10:00:00	0,008	-0,006	-0,010	-0,082
10:15:00	-0,023	0,009	0,027	0,087
10:30:00	0,088	-0,004	-0,011	-0,103
10:45:00	-0,152	0,008	0,015	-0,012
11:00:00	-0,067	0,005	-0,011	0,003
11:15:00	0,217	-0,009	0,017	-0,006
11:30:00	-0,058	0,005	-0,001	0,005
11:45:00	-0,016	0,000	0,015	-0,009
12:00:00	0,079	-0,004	-0,009	0,013
<b>22.04.2014</b>	<b>еталонне значення 0,5 мм</b>			
8:29:00	-0,002	0,005	-0,008	0,005
8:39:00	0,062	-0,022	0,007	-0,007
8:49:00	0,008	-0,004	-0,008	0,004
8:59:00	-0,015	-0,003	-0,004	0,002
9:09:00	-0,011	0,015	0,002	0,005
9:19:00	-0,034	0,007	-0,004	0,061
9:29:00	0,006	-0,005	-0,009	-0,063
9:39:00	0,024	-0,012	0,006	0,002
9:49:00	0,008	0,005	-0,017	0,005
9:59:00	-0,025	-0,003	0,005	-0,017
<b>23.04.2014</b>	<b>еталонне значення 0,25 мм</b>			
8:09:00	0,023	-0,002	-0,014	-0,007
8:14:00	-0,051	0,003	0,003	0,065
8:19:00	-0,006	-0,003	-0,005	-0,066
8:24:00	-0,052	0,003	0,002	-0,003
8:29:00	0,025	-0,017	0,005	-0,002
8:34:00	0,003	-0,003	-0,003	0,013
8:39:00	0,006	0,012	0,004	-0,002
8:44:00	0,052	-0,003	-0,002	-0,017
8:49:00	-0,004	0,002	0,004	0,017
8:54:00	0,003	0,006	-0,003	-0,006

### Наукова новизна та практична значущість

Результати проведеного експерименту підтвердили можливість використання нахиломірних вимірів для визначення зміни висот точок певної жорсткої основи. Використання нахиломірних вимірів для високоточного геометричного нівелювання дасть змогу доповнити інформацію про динамічні процеси, які відбуваються на території проведення робіт між циклами спостережень.

Розроблена методика дає можливість сумісно опрацювати результати високоточного геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів, а також знаходити точність визначення висот точок, одержаних цими методами. Використовуючи цю методику, можна здійснювати вибір оптимальних ваг результатів вимірів, щоб покращити одержані результати.

Таку методику опрацювання результатів спостережень можна використати для подальшого спостереження за деформаціями інженерних споруд та технологічного обладнання.

### Висновки

Аналізуючи результати досліджень, можна зробити такі висновки:

1. Результати експерименту підтвердили можливість використання вимірів кутів нахилу певної поверхні, одержаних інклінометрами, в поєднанні з результатами високоточного геометричного нівелювання.
2. Розроблена методика, яка дає змогу проводити сумісне опрацювання результатів високоточного геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів інклінометрами.
3. Відхилення зміни висоти точок після сумісного врівноваження від еталонного значення коливається в межах 0,02–0,06 мм, що є співрозмірним з величиною точності визначення еталонної величини 0,01 мм.
4. За результатами опрацювання результатів вимірів знайдено оптимальне значення середньоквадратичної помилки виміру кута нахилу інклінометром для умов експерименту ( $m_i = 0,05$  мрад).
5. Цю методику можна застосувати для встановлення та контролю за положенням фундаментів технологічного обладнання інженерних споруд або вивчення рухів земної поверхні в межах суцільної тектонічної плити.

### Література

1. Марфенко С. В. Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений: учеб. пособие / С. В. Марфенко. – М.: Изд-во МГУГиК, 2004. – 35 с.
2. Яценко А. И. Области применения цифровых инклинометров / Геопрофи. – 2010. – № 5. – С. 57–59.
3. Arnoso, J. The 2011 volcanic crisis at El Hierro (Canary Islands): monitoring ground deformation through tiltmeter and gravimetric observations / Arnoso J., Montesinos F. G., Benavent M. & Vélez E. J. // EGU General Assembly 2012, held 22–27 April, 2012 in Vienna, Austria. – p. 5373.
4. Kopáčík Alojz. Automated monitoring of the Danube bridge Apollo in Bratislava / Alojz Kopáčík, Peter Kyrinovic, Imrich Lipták and Ján Erdélyi // FIG

- Working Week 2011 Bridging the Gap between Cultures Marrakech, Morocco, 18–22 May 2011
5. Álvarez-Vigil A. E. Forensic analysis of the evolution of damages to buildings constructed in a mining area / Álvarez-Vigil A. E., González-Nicieza C., López Gayarre F. & Álvarez-Fernández M. I. // Engineering Failure Analysis 17(4), June 2010. – P. 938–960.
  6. Erol S. Determination of Deformations with GPS and Leveling Measurements: Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology. – Istanbul, Turkey. – 2008.
  7. Ireneusz Wyczałek. The usage of posital can open ags15 inclinometers for diagnostic monitoring of slender structures / Ireneusz Wyczałek, Artur Plichta, Michał Wyczałek // Reports on Geodesy and Geoinformatics vol. 95 – 2013; pages 11–22 DOI: 10.2478/rgg-2013-0009
  8. Hristopulos D. T. Using GPS for Monitoring Tall-building Response to Wind Loading: Filtering of Abrupt Changes and Low-frequency / Hristopulos D. T., Mertikas S. P., Arhontakis I., Brownjohn J. M. W. // Noise, Variography and Spectral Analysis of Displacements. GPS Solut. – 2007; 11. – P. 85–95.
  9. Gikas V. Settlement Analysis of Mornos Earth Dam (Greece) / Gikas V., Sakellariou M. // Evidence from Numerical Modelling and Geodetic Monitoring. Eng Struct. – 2008; 30. – P. 3074–3081.
  10. Maria J. Henriques Measuring Inclinations in Cabril Dam with an Optoelectronic Sensor / Maria J. Henriques, José N. Lima and Sérgio B. Oliveira // FIG Working Week 2012 Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage Rome, Italy, 6–10 May 2012.
  11. Roberts G.W. Integrating a Global Positioning System and Accelerometers to Monitor the Deflection of Bridges / Roberts G. W., Meng X, Dodson A. H. // J Surv Eng. – 2004; 130. – P. 65–72.
  12. Rohrmann, R. G. Integrated monitoring of offshore wind turbines – requirements, concepts and experiences. / Rohrmann, R. G., Thöns, S. & Rucker, W. // Structure and Infrastructure Engineering, 6(5). – P. 575–591.
  13. Sherman C. S. Developing a Rock Mass Tilt And Seismic Observatory at DUSEL. 45th U.S. Rock Mechanics / Sherman C. S., Magliocco M. & Glaser, S. D. // Geomechanics Symposium, June 26–29, 2011, San Francisco, California.

### Сумісне опрацювання результатів високоточного геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів С. Петров

Розглянуто питання дослідження точності визначення висот за допомогою методу високоточного геометричного нівелювання та нахиломірних вимірів інклінометрами, а також розроблена методика сумісного опрацювання цих результатів. На основі проведеного експерименту запропоновано методику сумісного опрацювання, наведено результати спільного врівноваження та зроблено висновки про можливість подальшого використання цієї методики.

**Совместная обработка результатов  
высокоточного геометрического нивелирования  
и уклономерных измерений**

С. Петров

Рассмотрены вопросы исследования точности определения высот, полученных методом высокоточного геометрического нивелирования и измерений инклинометрами, а также разработки методики совместной обработки этих результатов. На основе проведенного эксперимента предложена методика совместной обработки, приведены результаты совместного уравнивания и сделаны выводы о возможности дальнейшего использования этой методики.

**Compatible processing of results  
of high precision geometric levelling  
and inclination measurements**

S. Petrov

The questions of research of the accuracy of height determination obtained by precision geometric levelling and inclinometer measurements and development of technique of joint processing of these results are considered in the paper. Based on implemented experiment the technique of joint study is proposed, results of joint adjustment are shown and conclusions about the possibility of future use of this technique are made.

- методи і засоби польових вимірювань
- аналіз точності одержаних результатів, специфіка робіт з інвентаризації територіальних, господарських земле-, водо-, лісокористувань, оцінки окремих ділянок
- методика геодезичних робіт для реалізації проектів протиерозійного захисту земель
- геодезичне забезпечення рекультиватії порушених земель

Волосецький Б. І.  
Навчальний посібник.

Друге видання, доповнене.  
Видавництво Львівської політехніки, 2012. 292 с.  
ISBN 978-966-553-701-4



## Геодезичне забезпечення використання природних ресурсів

- теоретичні і практичні аспекти геодезичного забезпечення розпланувальних та будівельно-монтажних робіт у спорудженні енергетичних та водогосподарських комплексів
- крім традиційних, висвітлюється використання нових технологій і засобів вимірювань та опрацювання

Волосецький Б. І.  
Навчальний посібник.

Друге видання, доповнене.  
Видавництво Львівської політехніки.  
Готується до друку

## ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ