

УДК 528.48

д.т.н., професор Шульц Р.В.,  
Київський національний університет будівництва і архітектури  
к.т.н., доцент Анненков А.О.,  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури  
Хайлак А.М.,  
Науково-дослідний інститут будівельного виробництва, м. Київ

## ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ЗСУВНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ПРИКЛАДІ БУДІВНИЦТВА ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ У М. КИЄВІ

*Розглянуто методика розроблення проекту спостережень за зсувами. Наведено методика виконання попереднього розрахунку точності при виконанні геодезичних спостережень за зсувними процесами. Представлено перші результати отримані при спостереженнях за зсувом в зоні будівництва житлового комплексу на схилі р. Дніпро у м. Києві.*

**Постановка проблеми.** Загально відомо, що головна мета геодезичного моніторингу при спостереженні за зсувними процесами – це визначення кількісних геометричних характеристик зсуву (вертикальні та горизонтальні переміщення, швидкість, напрямок зсуву та ін.) та на їх основі прогнозування подальшого розвитку зсуву. Існує безліч типів зсувів, що відрізняються розміром і формою, глибиною захоплення і формою поверхні ковзання, характером зміщення земляних мас, їх швидкістю, періодичністю, станом поверхні та ін., а відтак вирішення задачі спостереження за зсувами в кожному конкретному випадку вимагає розроблення відповідних проектних рішень на базі відповідних розрахунків та існуючого досвіду. Нові геодезичні методи змінили традиційний підхід до розроблення проектів геодезичних спостережень за зсувами. З появою новітніх геодезичних технологій виникає необхідність їх адаптації до вирішення задачі спостережень за зсувами.

**Огляд останніх публікацій.** Традиційний підхід до розроблення проектів геодезичних спостережень за зсувами та методи спостережень викладено в класичних роботах [2,5,10,11]. В чинній нормативній літературі [1,3,7] наведено лише загальні положення про порядок та методика спостережень за зсувами, без детального розгляду порядку розрахунку точності спостережень та методик спостережень з використанням сучасних технологій, таких як: електронні тахеометри, ГНСС-приймачі, наземні лазерні сканери, радіоінтерферометри тощо. Останнім часом з'явилося декілька робіт в яких зроблено спробу опису методик використання сучасних технологій, це роботи [4,6,8,12]. Однак

необхідно відмітити, що головна увага в цих роботах зосереджена на математичному обробленні отриманих результатів спостережень і представленні кількісних геометричних характеристик зсувів. Етап проектування спостережень та безпосереднього виконання спостережень залишається поза увагою авторів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є висвітлення сучасного підходу до розроблення проекту спостережень за зсувами та сучасних методів представлення результатів спостережень.

**Виклад основного матеріалу.** Для спостереження за зсувами найчастіше використовують традиційні геодезичні методи. Визначення зсувних характеристик цими методами в умовах міської забудови досить ускладнене. Найчастіше методика спостережень представляє комбінацію декількох методів.

Більш детально сутність спостережень за зсувами можна з'ясувати за технологічною схемою, що представлена на рис. 1.

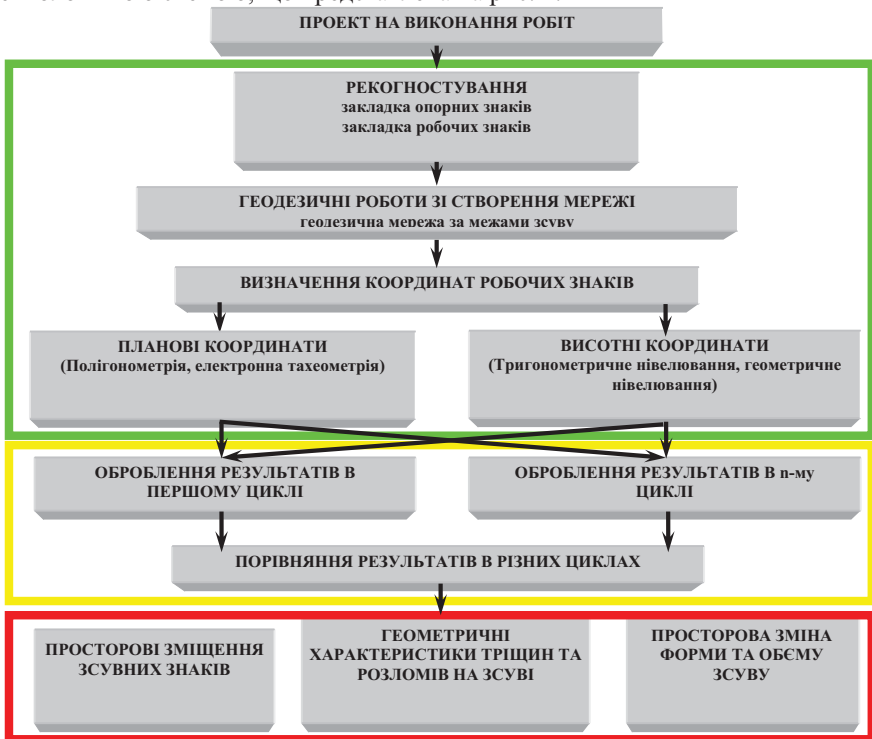


Рис. 1. Технологічна схема спостереження за зсувами

Широкими можливостями при вивченні зсувних процесів володіють сучасні геодезичні технології. Спробу дослідження сучасних технологій було

реалізовано при розробленні проекту геодезичного моніторингу в м. Києві. Район робіт розташований в центральній частині міста Києва за адресою вул. Мазепи 1. Схил між вулицями Мазепи та Парковою дорогою, де за проектом передбачено будівництво 4-х будинків висотою від 10 до 25 поверхів розташований на західних схилах річки Дніпро, які характеризуються наявністю активних зсувних процесів. Розташування міста Києва на р. Дніпро зумовлює сильну розчленованість та великі перепади висот. Правий берег Дніпра у м. Києві – крутий і піднімається над рівнем води у Дніпрі більше ніж на 100 м.

Для реалізації даного проекту було використано розроблені у [2,8,11] методики попереднього розрахунку точності спостережень за зсувами та періодичністю спостережень. Натурні геодезичні спостереження за розвитком зсувів є однією з найбільш важливих частин загального комплексу вивчення режиму зсувних процесів. Тому обґрунтування необхідної точності геодезичних спостережень повинне виходити з принципу отримання як найповнішої і достовірної інформації про зсув. Попереднє визначення точності вимірювання горизонтальних та вертикальних переміщень виконують в залежності від очікуваної величини переміщення, яку встановлюють проектом виконання будівельних робіт. В такому випадку призначення точності вимірювань виконують згідно з таблицею ГОСТ [1]. Вимога до точності вимірювань повинна дотримуватись при різних швидкостях зсуву.

Критеріями оптимальності спостережень в інженерній геодезії служать визначення мінімуму або максимуму деформації зсувного схилу, точність вимірювань, вартість або час спостережень. Розглянемо питання про точність спостережень, ґрунтуючись на класифікації зсувів, що наведена в [2,10]. Спостереження за мікро зсувами на схилі виконують перш за все для прогнозування порушень стійкості схилу і вивчення його мікродинаміки. Якщо ставиться питання про забезпечення подальшої безпечної експлуатації об'єктів, розташованих на схилі, то при виявленні направлених мікрозсувів потрібне термінове розроблення і здійснення відповідних заходів щодо відновлення стійкого положення схилу або розташованих на ньому будівель і споруд. Виявлення направлених мікрозсувів дозволяє визначити момент початку зсувних процесів і їх подальший розвиток. Для досягнення цих цілей мають бути поставлені натурні спостереження за допомогою автоматичних і напівавтоматичних цифрових і сигнальних систем, як за поверхневими і глибинними станами схилу, так і за будівлями, що знаходяться на ньому. Такі спостереження виконуються спеціалізованими геологічними організаціями. Очевидно, що в даному випадку ніякий розрахунок точності спостережень не потрібний. Інакше ставиться питання про точність спостережень за макрозсувами на зсувах.

При вивченні режиму зсувних процесів точність натурних спостережень має бути пов'язана з цілями і задачами загального комплексу досліджень. Вимога до точності вимірювань повинна дотримуватись при різних швидкостях зсуву. З погляду механіки, зміщення на зсуві відносяться до нерівномірного руху з швидкістю

$$v = \frac{dS}{dt}.$$

Переходячи до кінцевих приростів, отримаємо середню швидкість зсуву точки за час  $\Delta t$ :

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}.$$

Використовуючи відомі прийоми теорії похибок вимірювань, СКП швидкості зсувів можна представити у вигляді:

$$m_v = \frac{1}{\Delta t} \sqrt{m_{\Delta S}^2 + V^2 m_{\Delta t}^2} \quad (1)$$

де  $m_{\Delta S}$  — СКП визначення величини зсуву;  $m_{\Delta t}$  — СКП визначення часу між циклами спостережень.

Звідси відносна похибка визначення швидкості зсувів буде:

$$\frac{m_v}{V} = \sqrt{\frac{m_{\Delta S}^2}{\Delta S^2} + \frac{m_{\Delta t}^2}{\Delta t^2}}. \quad (2)$$

Отже, при проектуванні спостережень за зсувами на схилі виникають завдання визначення необхідної точності спостережень  $m_{\Delta S}$  зсувів, періоду спостережень  $\Delta t$  і його оцінки точності  $m_{\Delta t}$  по заданих значеннях  $m_v$  або  $m_v/V$ . З виразів (1) і (2) видно, що кількість рівнянь, що зв'язують шукані і задані величини, виявляється недостатньою для однозначного визначення вказаних параметрів, тобто потрібна гіпотетична побудова моделі зсувів і відшукування її параметрів.

Якщо, наприклад, задатися деякими значеннями  $m_{\Delta S}$  і  $m_{\Delta t}$  то відносна похибка визначення швидкості зсувів залежатиме від самої швидкості або параметрів, по яких вона визначається. Очевидно, що при збільшенні швидкості зменшується відносна похибка її визначення.

Нехай значення відносної похибки швидкості задовольняє заданій умові:

$$\frac{m_v}{V} \leq \frac{1}{K}, \quad (3)$$

тоді з урахуванням виразу (2) можна написати:

$$\frac{m_{\Delta S}^2}{\Delta S} + \frac{m_{\Delta t}^2}{\Delta t} \leq \frac{1}{K^2}. \quad (4)$$

Скориставшись принципом рівного впливу похибок, для визначення вказаних вище параметрів отримаємо наступні вирази:

$$\Delta t \leq Km_{\Delta t} \sqrt{2}, \quad (5)$$

$$m_{\Delta t} \leq \frac{\Delta t}{K\sqrt{2}}, \quad (6)$$

$$m_{\Delta S} \leq \frac{V\Delta t}{K\sqrt{2}}, \quad (7)$$

Таким чином, задаючись деяким прийнятним для конкретних умов спостережень СКП  $m_{\Delta t}$  по формулі (5) можна отримати необхідний період спостережень за зсувами. Якщо ж є хоча б наближене уявлення про хід зсувів в часі, то визначають період часу  $\Delta t$  протягом якого зсуви змінюються в деякій мірі рівномірно. В цьому випадку необхідну точність визначення (призначення) періоду спостережень отримують з виразу (6). Для визначення СКП  $m_{\Delta S}$  як видно з виразу (7), необхідно мати уявлення про швидкість зсувів.

Зсуви мають характер нерівномірного руху. Дійсно, в початковий період розвитку процесу (в період активізації) швидкість зсувів поступово наростає і через деякий проміжок часу вступає в катастрофічну фазу (або обвалення схилу). Потім швидкість убиває і переходить в стадію тимчасової стабілізації. Тому СКП  $m_{\Delta S}$  необхідно визначити для деякого заданого ступеня  $\Delta S$ . Необхідно враховувати і той факт, що швидкість обвальних зсувів нерівномірна і за площею обвального схилу.

Природно, що частота спостережень повинна перш за все залежати від швидкості руху зсуву і від точності виконання робіт. Якщо зсув рухається повільно, а спостереження проводять порівняно грубо, то немає великого сенсу в частих спостереженнях. Навпаки, якщо зсув рухається швидко, то навіть при грубих спостереженнях може бути отримана більш менш вірна картина руху. Те ж саме може відбутися при повільних зсувах, якщо методи спостережень дозволяють отримати дані з високою точністю.

Частота спостережень повинна змінюватися відповідно до коливань швидкості зсуву; вона повинна збільшуватися в періоди активізації і зменшуватися в періоди згасання. У особливо активні періоди спостереження повинні бути значно частіше і інколи повторюватися через кожні декілька днів.

Навіть при найраціональнійшій методиці польових робіт час повного циклу спостережень за горизонтальними і вертикальними переміщеннями на крупних зсувах може досягати двох тижнів.

В таких умовах, коли тривалість спостережень співпадає з інтервалом між ними в активні періоди, поняття циклу робіт втрачає сенс і по суті їх проводять безперервно.

У активні періоди проводять безперервні послідовні спостереження за зсувом зі всіх опорних точок в горизонтальному і вертикальному напрямках і повторюють такі ж цикли без перерви.

У періоди згасання зсувної діяльності і на повільно рухомих зсувах проводять щомісячні цикли спостережень за горизонтальними переміщеннями і прецизійне нівелювання зсувних точок.

Контрольні визначення положення знаків і прецизійне нівелювання по контрольних ходах проводять приблизно через кожні 3 місяці, а саме: в кінці зими, до весняного танення снігу; на початку літа, після припинення активного весняного періоду; в кінці літа, до початку осінніх дощів; на початку зими, після закінчення осінніх переміщень зсуву; іноді роботи обмежують двома спостереженнями в рік — в кінці зими і в кінці літа.

При рішенні питання про точність спостережень можна запропонувати виходити з принципу визначення мінімально необхідних або максимально можливих зсувів  $\Delta S_{max}^{min}$ , тобто шляхом призначення допуску на визначення зсувів подібно до того, як це робиться в будівельній метрології при розрахунку точності розмічувальних робіт або контрольно-монтажних вимірювань.

Тут можливі два основні випадки: 1) задається допуск  $\Delta S_{max}^{min}$  на визначення зсувів в тривимірному просторі; 2) допуски  $\Delta H_{max}^{min}$  и  $\Delta L_{max}^{min}$  на визначення вертикальних і планових зсувів задаються роздільно.

**Перший випадок.** СКП визначення зсувів в тривимірному просторі позначимо  $m_{\Delta S}$ . Тоді початкову умову для розрахунку точності геодинамічних спостережень можна представити у вигляді:

$$\Delta S_{max}^{min} \geq z_q m_{\Delta S}, \quad (8)$$

де  $z_q$  — коефіцієнт, залежний від прийнятої довірчої ймовірності  $p$  (або від рівня значимості  $q = 1 - p$ ):

$q$	0,10	0,05	0,01	0,0027
$z_q$	1,64	1,96	2,58	3,00

Позначимо  $m_X, m_Y, m_Z$  СКП визначення зсувів по осях  $X, Y$  і  $Z$  відповідно. Тоді умова (8) прийме вигляд:

$$\Delta S_{max}^{min} \geq z_q \sqrt{m_X^2 + m_Y^2 + m_Z^2}. \quad (9)$$

Якщо скористатися принципом рівного впливу, тобто  $m_X = m_Y = m_Z = m_1$  то з умови (9) отримаємо:

$$m_1 = \frac{\Delta S_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{3}}. \quad (10)$$

Іноді встановлюють співвідношення між СКП:

$$m_2 = \frac{\Delta S_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{2+k}}. \quad (11)$$

**Другий випадок.** СКП визначення вертикальних і планових зсувів позначимо  $m_X, m_Y, m_H$ . Очевидно, що для визначення СКП  $m_H$  достатньо у формулу (8) підставити замість  $\Delta S_{\max}^{\min} - \Delta H_{\max}^{\min}$  тоді:

$$m_H = \frac{\Delta H_{\max}^{\min}}{z_q}. \quad (12)$$

Для визначення точності планових зсувів, діючи аналогічно першому випадку, отримаємо формулу:

$$m_L = \frac{\Delta L_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{2}} \quad (13)$$

де  $m_L = m_X = m_Y$ .

Що стосується часового інтервалу  $\Delta t$  (проміжку часу між циклами спостережень) то рекомендується на початку спостережень задаватися ними, виходячи із загальних припущень про хід зсувів в часі, а потім корегувати в процесі спостережень.

Для рівноточного визначення зсувів як в часі, так і в межах кожного схилу розрахована точність, а отже, і розроблена на підставі цієї точності методика натурних спостережень мають бути постійні на весь період польового експерименту. Рівноточність визначення зсувів у часі в дуже сильній мірі залежить від дотримання постійності в кожному з циклів схем спостережень.

Якщо прийняти підхід до розрахунку рекомендований в роботі [2] та врахувати, що максимально допустимим переміщенням  $\Delta S_{\max}^{\min}$  в міських умовах з щільною забудовою [7] приймають 45 мм, матимемо СКП визначення зсувів в тривимірному просторі з виразу (10) при умові, що  $m_X = m_Y = m_Z = m_1$ :

$$m_1 = \frac{\Delta S_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{3}} = \frac{45 \text{ мм}}{2,5 \sqrt{3}} = 10 \text{ мм}.$$

СКП визначення вертикальних і планових зсувів визначають за виразами (12) – (13):

$$m_H = \frac{\Delta H_{\max}^{\min}}{z_q} = \frac{30 \text{ мм}}{2,5} = 12 \text{ мм}, \quad m_L = \frac{\Delta L_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{2}} = \frac{30}{2,5 \sqrt{2}} = 8,5 \text{ мм}.$$

Отримані значення СКП визначення координат, вказують на те, що такий підхід до розрахунку може бути придатним тільки для зсувів, які рухаються дуже швидко і для яких вже встановлено факт наявності зсувних процесів. Тому такий підхід до розрахунку точності спостережень можна застосовувати, лише в крайньому випадку. Інший недолік цього методу полягає в тому, що він не пов'язує безпосередньо точність спостережень та інтервали спостережень.

Нами запропоновано наступний підхід для розрахунку точності спостережень. Прийемо згідно з [5], що величина переміщення  $\Delta S_{\max}^{\min}$  пов'язана з точністю визначення цього переміщення наступним чином:

$$m_{\Delta S} = 0,2 S_{\max}^{\min} = 0,2 \cdot 30 \text{ мм} = 6 \text{ мм}. \quad (14)$$

Якщо на початку спостережень передбачається виконувати спостереження щомісячно, то інтервал  $\Delta t = 30$  днів. Отже коливання інтервалу спостережень по аналогії з (14) будуть:

$$m_{\Delta t} = 0,2 \Delta t = 0,2 \cdot 30 \text{ днів} = 6 \text{ днів},$$

а швидкість руху зсуву, яка буде впевнено визначатись складе  $V = 1 \ddot{\text{ü}} / \ddot{\text{üü}}$ .

Використовуючи вираз (1) отримаємо СКП визначення швидкості зсувів:

$$m_V = \frac{1}{\Delta t} \sqrt{m_{\Delta S}^2 + V^2 m_{\Delta t}^2} = \frac{1}{30} \sqrt{36 + 36 \cdot 1} = 0,3 \text{ мм / день}.$$

Оскільки ми задалися значеннями  $m_{\Delta S}$  і  $m_{\Delta t}$  то відносна похибка визначення швидкості зсувів залежатиме від самої швидкості або параметрів, по яких вона визначається. Нехай значення відносної похибки швидкості задовольняє заданій умові:

$$\frac{m_V}{V} \leq \frac{1}{K} = \frac{1}{3,33} \approx \frac{1}{4}.$$

Скориставшись принципом рівного впливу похибок, для визначення вказаних вище параметрів отримаємо:

$$\Delta t \leq K m_{\Delta t} \sqrt{2} = 4 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 34 \text{ дні},$$

$$m_{\Delta t} \leq \frac{\Delta t}{K \sqrt{2}} = \frac{34}{4 \sqrt{2}} = 5,3 \text{ дні},$$

$$m_{\Delta S} \leq \frac{V \Delta t}{K \sqrt{2}} = \frac{1 \cdot 34}{4 \sqrt{2}} = 5,3 \text{ мм}.$$



Таким чином, задаючись деяким прийнятним для конкретних умов спостережень СКП  $m_{\Delta t}$  отримаємо необхідний період спостережень за зсувами рівний 34 дням. Необхідна точність визначення періоду спостережень дорівнює 5 дням. СКП  $m_{\Delta S}$  спостереження за просторовими переміщеннями дорівнює 5,3 мм. Точність визначення кожної складової просторового зміщення визначимо за виразом:

$$\frac{m_{\Delta S}}{\sqrt{3}} = m_x = m_y = m_z = 3,1 \text{ мм}.$$

Для зміщення в плані матимемо:

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 4,3 \text{ мм}$$

Таким чином для нашого об'єкту дослідження необхідно вибрати прилади необхідної точності та запроєктувати геодезичну мережу, які дозволили б дотриматись визначеної точності спостережень за зсувом. Детально запроєктоване розташування пунктів станцій спостережень представлено на рис. 2.

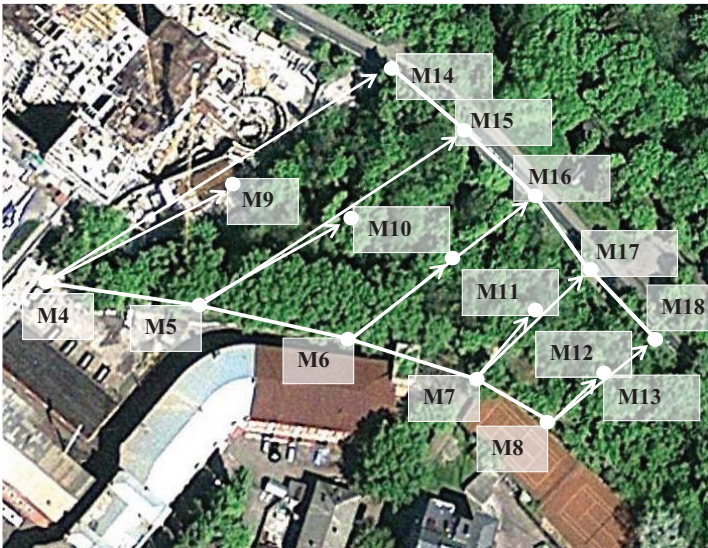


Рис. 2. Проектна мережа станцій спостережень

Для запроєктованої мережі станцій спостережень було виконано попередній розрахунок з використанням методу найменших квадратів.

Для розрахунку було прийнято, що СКП вимірювання кутів дорівнює 5 кут. сек., а СКП вимірювання відстаней дорівнює 2 мм. Результати розрахунку

наведено в табл. 1. В таблиці приведено СКП по координатних осях та величини півосей еліпсів похибок і дирекційний кут великої півосі еліпса похибок.

Таблиця 1

**Попередній розрахунок точності визначення зсувних точок**

Пункт	m, м	m <sub>x</sub> , м	m <sub>y</sub> , м	a, м	b, м	α
M1	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	178°42'22,83"
M14	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	97°53'34,48"
M15	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	104°40'11,77"
M16	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	112°53'37,00"
M17	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	120°42'19,30"
M18	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	125°56'04,54"
M2	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	39°17'32,98"
M3	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	55°36'29,98"
M4	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	65°09'43,75"
M5	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	80°29'29,41"
M6	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	103°35'56,37"
M7	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	111°11'51,21"
M8	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	102°52'46,66"

Порівнюючи результати попереднього розрахунку з вимогами, можна зробити висновок, що всі пункти мережі визначені з точністю не гірше 3 мм по всіх координатних осях. Отже запроєктована мережа відповідає вимогам до точності визначення координат.

В якості основного методу для визначення горизонтальних зміщень пунктів M9 – M13 рекомендовано застосовувати координатний метод з використанням тахеометра, який працює в режимі без відбивача. Визначення висот точок на зсуві виконують методом двостороннього тригонометричного нівелювання.

Розрахунок точності способу виконують за формулами:

$$m_x^2 = m_s^2 \sin^2 \beta + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \beta, \quad m_y^2 = m_s^2 \cos^2 \beta + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2 \sin^2 \beta, \quad (15)$$

де  $S$  - горизонтальне прокладання лінії.

При розрахунку СКП вимірювання кутів прийнята  $m_\beta = 5''$ , СКП вимірювання відстаней  $m_s = 2$  мм. Результати розрахунку представлено в табл.

Таблиця 2

**Залежність похибок в координатах від вимірюного кута  $\beta$  і відстані  $S$** 

$\beta$ , град	$S$ , м	$m_x$ , мм	$m_y$ , мм
30	100	2,2	3,4
90	100	4,0	1
30	150	2,6	3,6
90	150	4,0	2,0

З таблиці можна зробити висновок, чим менший кут  $\beta$ , а також відстань  $S$  до визначуваної точки, тим точніше визначаються її координати і висоти. Точність визначення координат точок вище при куті засічки, що наближається до  $90^\circ$ . Враховуючи той факт, що максимальна відстань на схилі не перевищує 50 м, можна зробити висновок, що запропонований спосіб дозволяє визначити координати точок М9 – М13 з необхідною точністю.

Визначення висот точок на зсуві виконують методом двостороннього тригонометричного нівелювання. Метод тригонометричного нівелювання дозволяє визначити осідання точок, що розташовані на різних висотах в складних і важко доступних умовах. В порівнянні з геометричним нівелюванням метод дозволяє вимірювати з однієї станції значні перевищення, відсутня необхідність в рейках і навіть осідальних марках.

Широке розповсюдження в інженерно-геодезичних роботах електронних тахеометрів забезпечує автоматизацію та необхідну точність вимірювань методом тригонометричного нівелювання. Похибки більшості тахеометрів, які працюють в режимі без відбивача знаходиться в межах  $m_Z = 1 - 5''$ ,  $m_S = 1 - 5$  мм. Для забезпечення високої точності вимірювання зенітних відстаней вимірювання на станції виконують двома прийомами. При вимірюванні відстаней враховують поправки за метеоумови.

При прийнятих умовах отримаємо точність визначення перевищення між знаками з однієї станції:

$$m_{h_{ij}} = \sqrt{2m_S^2 \cos^2 z + 2\left(\frac{S}{\rho} \sin z\right)^2 m_Z^2}. \quad (16)$$

Для спостереження використано електронний тахеометр TCRP1205+ R400 з характеристиками  $m_Z = 5''$ ,  $m_S = 2$  мм. в такому випадку отримуємо точність визначення перевищення:

$$m_{h_{ij}} = \sqrt{2 \cdot 4 \cos^2 80 + 2\left(\frac{50000}{\rho} \sin 80\right)^2} 5^2 = 1.8 \text{ мм},$$

точність визначення осідання буде:

$$m_z = m_{h_{ij}} \sqrt{2} = 2,5 \text{ мм.}$$

Отже точність визначення висотної складової задовольняє вимогам, розрахованим нами раніше.

Після двох циклів спостережень остаточно мережа розташування деформаційних знаків на поверхні схилу мала наступний вигляд (рис. 3)

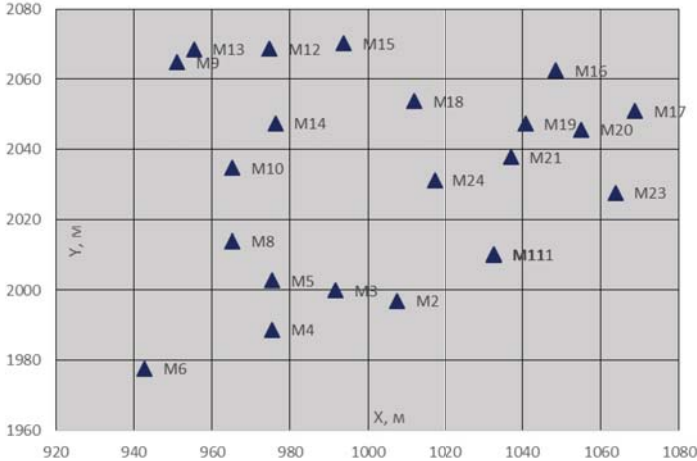


Рис. 3. Робоча мережа станцій спостережень

За результатами спостережень в першому циклі була побудована тривимірна модель поверхні зсуву, яка буде використовуватись при подальшому аналізі переміщень точок на зсуві.

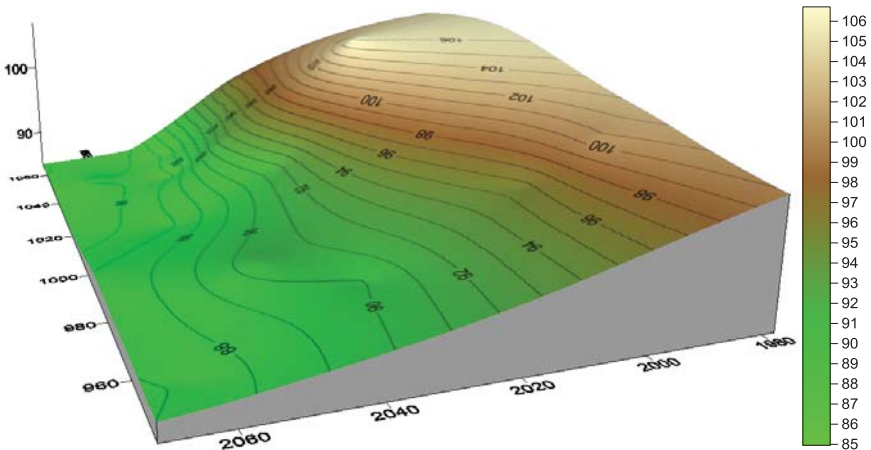


Рис. 4 Тривимірна модель поверхні зсуву

При виникненні зсувів форма схилу змінюється, а отже змінюється і поверхня зсуву. Маючи данні спостережень з двох циклів можна побудувати композитну поверхню, яка представлятиме рельєф змін висот на поверхні зсуву. Побудова композитної поверхні виконується в наступному порядку:

- Завантаження координат точок деформаційних знаків;
- Створення TIN – моделі поверхні;
- Редагування отриманої моделі;
- Створення композитної поверхні.

При створенні композитної поверхні використовують точки двох поверхонь, а також точки перетину ребер триангуляції між двома поверхнями. Значення відміток для нової композитної поверхні обчислюють, як різницю значень відміток двох поверхонь. Отримана композитна поверхня таким чином дозволяє відслідкувати критичні значення переміщень на зсуві.

За результатами спостережень за деформаційними знаками на зсуві нами було побудовано композитну поверхню, яку представлено у вигляді горизонталей.

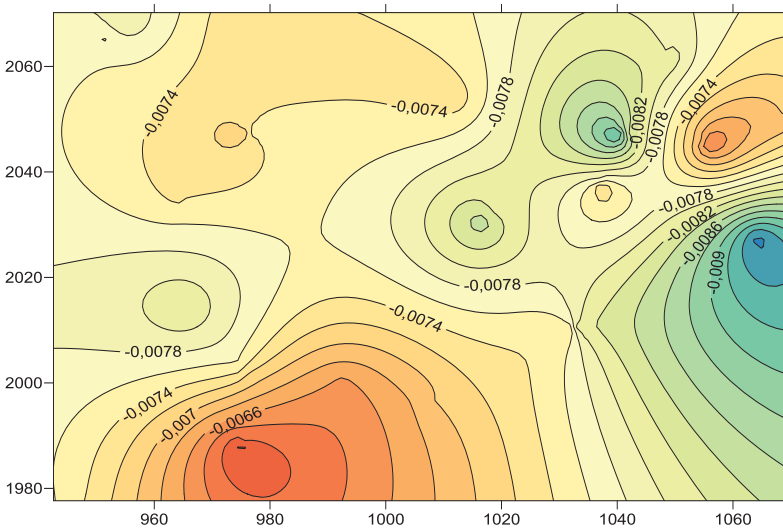


Рис. 5 Рельєф композитної поверхні деформацій зсуву

Така форма представлення дозволяє правильно оцінити характер переміщень на зсуві.

**Висновки.** Наведені в даній роботі результати представляють сучасний підхід до проблеми спостереження за зсувними процесами. Головний висновок полягає в тому, що потребують значного переосмислення та корегування

існуючі методики розрахунку точності спостережень за зсувами, технології виконання спостережень, методи оброблення результатів та способи представлення остаточних результатів. Вирішенню цих завдань будуть присвячені подальші публікації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24846— 81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. Государственный строительный комитет СССР.
2. Григоренко А.Г. Измерение смещений оползней / А.Г. Григоренко - М.: Недра, 1988 - 144с.
3. ДБН В.І.І-3-97. Захист від небезпечних геологічних процесів. Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. - К., Держбуд України, 1998.
4. Кузнецов А.И. Разработка метода определения поверхности скольжения оползня по данным геодезического мониторинга: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.32 / А.И. Кузнецов. Москва, 2013. - 24 с.
5. Левчук Г.П. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н. Лебедев. Под. ред. Г.П. Левчука. - М.: Недра, 1983 - 400с.
6. Павловская О.Г. Анализ и оценка по геодезическим данным динамики оползней в условиях проведения взрывных работ и разгрузки склонов: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.32 / О.Г. Павловская. - Новосибирск, 2012. - 24 с.
7. РД 07-166-97. Инструкция по наблюдениям за сдвигениями земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений. Госгортехнадзор России НТЦ «Промышленная безопасность» / Серия 07 Нормативные документы по вопросам охраны недр и геолого-маркшейдерского контроля / Выпуск 8 Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. 2002.
8. Симонян В.В. Обоснование точности и разработка методов математико-статистического анализа геодезических наблюдений за смещениями оползней: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.32 / В.В. Симонян. - Новосибирск, 2008. - 24 с.
9. Скарнина Н.А. Разработка геоинформационной технологии исследования оползневых процессов: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.35 / Н.А. Скарнина. - Москва, 2012. - 24 с.
10. Телятник А.А. Комплексное изучение и прогнозирование оползней / А.А. Телятник. - К.: ВИПОЛ, 1993 - 52с.

11. Тер-Степанян Г.И. Геодезические методы изучения динамики оползней / Г.И. Тер-Степанян. - М.: Недра, 1972 – 136 с.

12. Тихонов А.В. Научно-методические основы изучения глубоких оползней г. Москвы с применением высокоточных методов: Автореф. дис. ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.08 / А.В. Тихонов. - Москва, 2011. - 24 с.

### **АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрена методика разработки проекта наблюдений за оползнями. Приведена методика выполнения предварительного расчета точности при выполнении геодезических наблюдений за оползневыми процессами. Представлены первые результаты полученные при наблюдениях за оползнем в зоне строительства жилого комплекса на склоне р. Днепр в г. Киеве.

### **SUMMARY**

In the article the methodic of project development for observations of landslides is considered. The technique of performing a preliminary calculation of accuracy is resulted in the performance of geodetic observations of landslide processes. The first results obtained from observations of the landslide in the area of construction of a residential complex on the slope of the Dnieper River in Kiev are presented.