

МОН УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
(УНУС)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової та
інноваційної діяльності



Віктор Карпенко

«14» 12 2021 р.


З В І Т

Навчально-наукової лабораторії

«Сучасних геодезичних та землевпорядних технологій»

за 2021 рік

Розглянуто і затверджено на засідання кафедри геодезії, картографії і кадастру
(протокол № 5 від «29» жовтня 2021 року).

Т.в.о. завідувача кафедри  І.О. Удовенко

Керівник ННЛ  М.В. Шемякін

Умань – 2021

ЗМІСТ

	Стор.
1. МЕТОД «МІКРОТРИЛАТЕРАЦІЯ» І ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ.....	3
2. ОБ'ЄКТИ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	4
2.1. Об'єкти досліджень.....	4
2.2. Фізико-географічна характеристика району проведення робіт.....	7
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
3.1. Об'єкт «Грот Каліпсо».....	8
3.2. Об'єкт «Грот Водоспаду».....	12
3.3. Об'єкт «Лоток водоспаду»	14
ВИСНОВКИ.....	19
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	20

1. МЕТОД «МІКРОТРИЛАТЕРАЦІЯ» І ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Метод «мікротрилатерації» оснований на принципах методу геодезичних знімань – трилатерація. Трилатерація застосовується для побудови державних геодезичних мереж, для вирішення інженерних і технічних задач у народному господарстві. Відстані між вершинами сторін трикутників можуть вимірюватись у кілометрах. Метод «мікротрилатерація» планується застосовувати на обмежених просторах. Відстані між вершинами трикутників становлять від 10 до декількох десятків метрів.

Метод «мікротрилатерації» передбачено застосовувати для визначення стану об'єктів, що знаходяться у зоні ризику з метою попередження виникнення небезпечних ситуацій. Для вимірювань довжин сторін трикутників передбачено застосовувати електронну рулетку. Зазначений метод дозволить на основі вимірювань досить просто для користувача та оперативно, із незначними матеріальними витратами визначати стан об'єктів, що знаходяться у зоні ризику, загальну їх деформацію, рух окремих частин.

2. ОБ'ЄКТИ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкти досліджень

Об'єктами досліджень обрано споруди дендрологічного парку «Софіївка» НАН України «Лоток водоспаду», «Грот водоспаду», «Стіна гроту Каліпсо» (рис. 2.1, 2.2, 2.3). Перелічені споруди знаходяться у зоні ризику: розташовані на схилах і у зонах підвищеної вологості. Поєднання згаданих факторів із дією низьких температур може призводити до деформації та руху згаданих споруд і у кінцевому результаті до порушення їх цілісності.

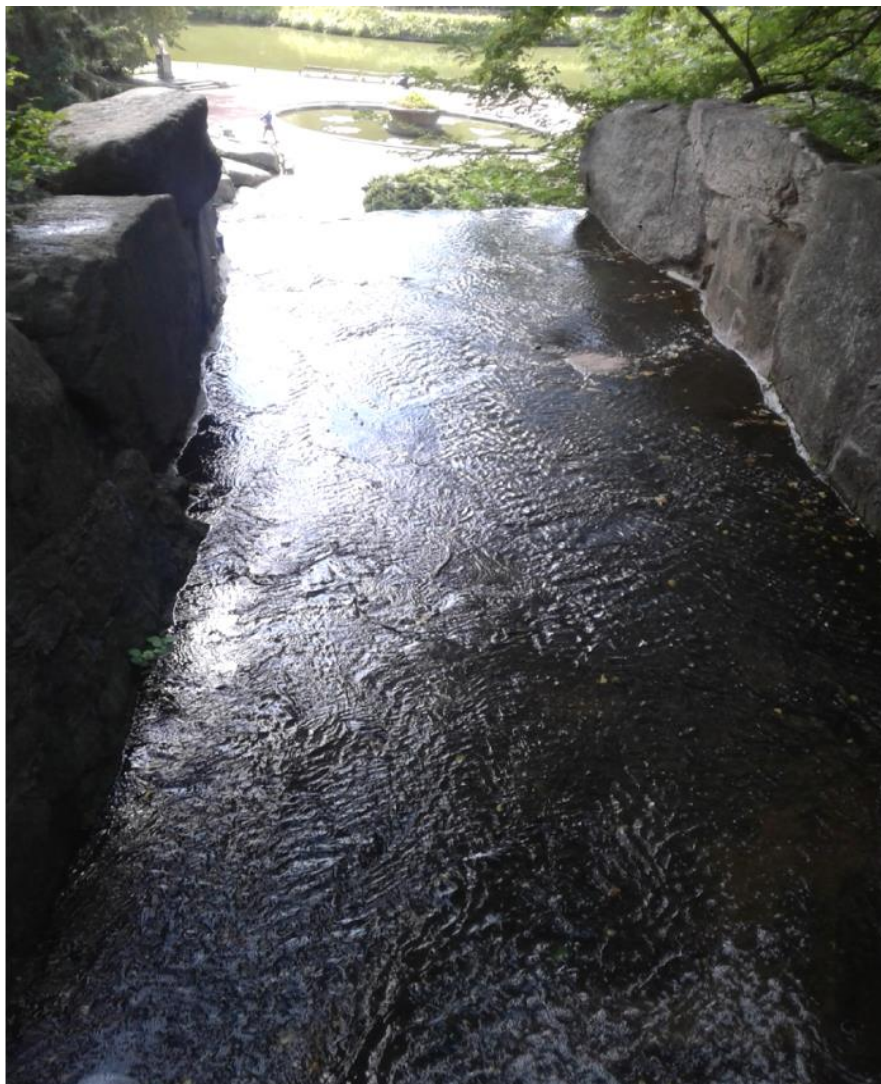


Рис. 2.1. Об'єкт «Лоток водоспаду».



Рис. 2.2. Об'єкт «Грот водоспаду»

а – загальний вигляд, б – задня стіна, в – передня стіна.

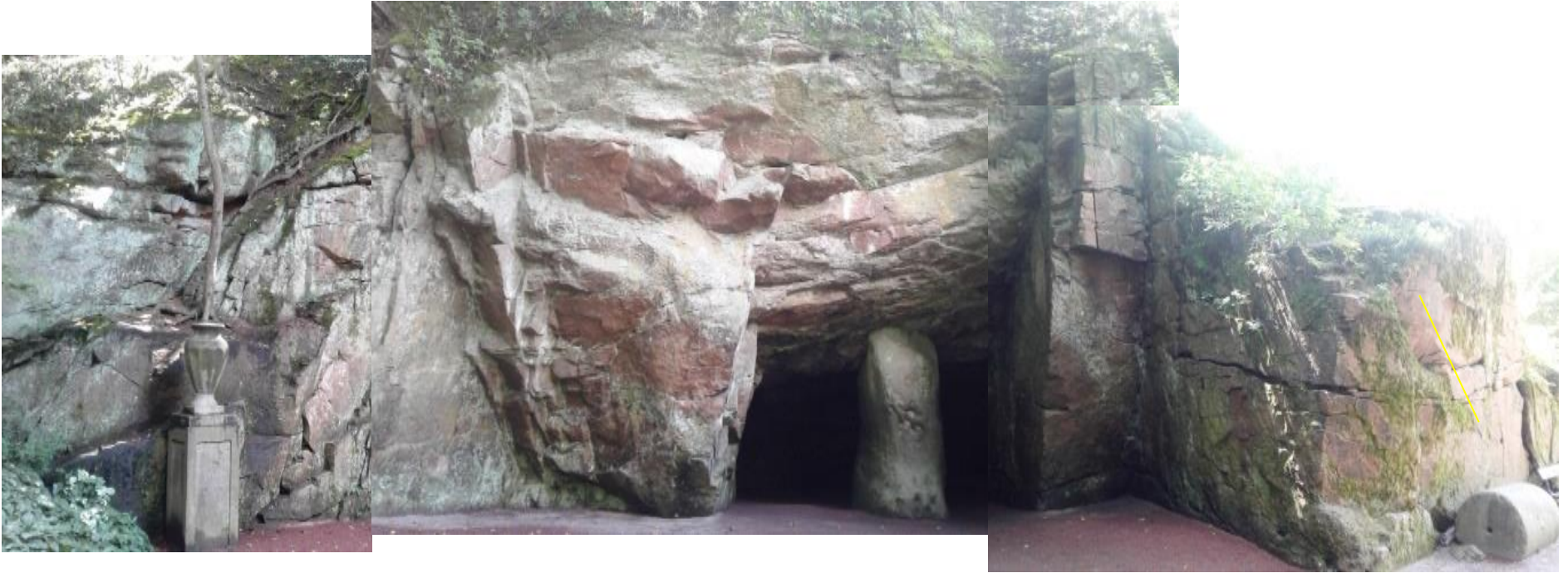


Рис. 2.3. Об'єкт «Стіна «Гроту Каліпсо»».

2.2. Фізико-географічна характеристика району проведення робіт

Клімат регіону досліджень помірно-континентальний з нестійким характером природного зволоження. За даними метеостанції Умань протягом року випадає в середньому 633 мм опадів, а за період вегетації 399 мм, проте їх розподіл у часі дуже нерівномірний.

Середня річна температура повітря становить 6,8–7,7 °С. Середня температура найхолоднішого місяця січня від -19 °С до -20,8 °С. За даними Сума температур повітря вище 0 °С складає 3110 °, вище +5 °С – 3005 °, вище 10 °С – 2680 ° і вище 15 °С – 2045 °. безморозний період триває 160–170 днів, а із середньодобовою температурою вище +5 °С – 205–215 днів [1, 3].

У даній зоні переважають північно-західні напрями вітрів. Середньорічна швидкість вітру становить 4,0–4,3 м/с.

Весна характеризується інтенсивним підвищенням температури та частим поверненням холодів. Перші приморозки спостерігаються на початку жовтня місяця [1, 3].

Тип ґрунту - чорнозем опідзолений, малогумусний, важкосуглинковий на карбонатному лесі. Наявність в орному шарі 48,8% фізичного піску (частинки більше 0,01 мм) і 51,2% фізичної глини (частинки менше 0,01 мм) свідчить про те, що чорнозем опідзолений за гранулометричним складом відноситься до важкосуглинкового. Чорнозем опідзолений характеризується пониженим вмістом гумусу 2,4–2,7% в орному і 2,3–2,5% у підорному шарах. Реакція ґрунтового розчину слабо кисла (рН=6,0...6,7), сприятлива для вирощування яблуні. Насиченість ґрунту основами висока. Азоту, що легко гідролізується (у шарі 0–40 см) за Кронфілдом – 42–121 мг/кг, рухомого фосфору і калію (за Чіріковим) відповідно 60–80 і 130–150 мг/кг ґрунту [4].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Об'єкт «Грот Каліпсо»

Робота на об'єкті «Грот Каліпсо» впродовж 2021 р. полягала у щомісячному моніторингу стану мережі деформаційних марок. Марки, знищені протягом зими-весни 2019, 2020 рр. були відновлені і проміряні весною 2020 р. Але, результати вимірювань показали, що сумарне зміщення по відновлених марках складає від 5 до 12 мм. Такі результати викликані неоднозначністю встановлення старих і нових деформаційних марок, і не є сигналом руху скельних масивів. Такий висновок можна зробити по факту обчислення сумарних зміщень інших марок, які не постраждали від актів вандалізму.

Враховуючи, що впродовж зими-весни 2020-2021 рр. відновлені марки знову були знищені, Лабораторією прийняте рішення про недоцільність відновлення знищених деформаційних марок.

Марки зазнають знищення через неможливість обмеження доступу до них для персоналу і відвідувачів парку. Знищуються ті марки, що знаходяться на висотах від 0,50 до 2,00 м над поверхнею скали або ґрунту.

Аналіз координат деформаційних марок, що не зазнали знищення, визначених за результатами вимірювань впродовж 2019, 2020 та 2021 рр. показує, що рухів скельних масивів станом на вересень 2021 р. не спостерігалось. Зміни координат деформаційних марок (табл. 1) у межах ± 2 мм обумовлені впливами інструментальної, особистісної похибок та систематичними погрішностями, викликаними впливом навколишнього середовища (освітлення, вологість і тиск повітря в день спостережень, надійність встановлення піраміди-штатива). Середні квадратичні похибки визначення координат точок коливаються у межах

$$0,0005 < m_{xy} < 0,0024 \text{ м.}$$

Таблиця 1

**Значення координат деформаційних марок
визначених протягом багатократних спостережень 2019-2021 рр.***

Номер деформац ійної марки	Значення координат деформаційних марок по роках спостережень, м								
	2019			2020			2021		
	X	Y	H	X	Y	H	X	Y	H
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Штатив	4474,0540	4443,7910	188,8100	4474,0545	4443,7920	188,8100	4474,0540	4443,7915	188,8109
Черепаха	4467,9080	4452,5880	187,6590	4467,9023	4452,5869	187,6571	Не проводилося		
1	4474,5530	4457,1121	190,1067	4474,5548	4457,223	190,1093	Не проводилося		
2	4475,8282	4455,3867	190,8043	4475,8271	4455,3883	190,8035	4475,8280	4455,3904	190,8051
3	4477,2062	4454,2869	190,1710	4477,2013	4454,2895	190,1739	Не проводилося		
4	4478,7265	4456,3585	190,4981	4478,7041	4456,3634	190,4861	Не проводилося		
5	4480,3934	4457,6829	190,4830	4480,3908	4457,6841	190,4841	4480,3913	4457,6835	190,4827
6	4480,5749	4456,9019	192,0130	4480,5724	4456,9031	192,0148	4480,5737	4456,9036	192,0150
7	4482,3490	4455,4050	192,6663	4482,3497	4455,4109	192,6656	4482,3502	4455,4118	192,6680
8	4482,6470	4455,6300	191,6903	4482,6478	4455,6361	191,6911	4482,6489	4455,6377	191,6923
9	4483,3060	4452,4304	191,8713	4483,3046	4452,4346	191,8702	4483,3057	4452,4351	191,8729
10	4484,2051	4451,0664	192,5637	4484,2081	4451,0718	192,5657	4484,2090	4451,0705	192,5671
11	4484,3423	4450,9719	191,1967	4484,3457	4450,977	191,1956	4484,3464	4450,9762	191,1975
12	4484,1771	4450,0452	191,8523	4484,1801	4450,0489	191,8517	4484,1789	4450,0478	191,8505

1	2	3	4	5	6	7	8	
13	4484,6925	4449,3803	191,9667	4484,6962	4449,3849	191,9645	Не проводилося	
14	4484,2199	4448,0063	190,4583	4484,2201	4448,0088	190,4604	Не проводилося	
15	4484,4343	4447,4904	191,8527	4484,4376	4447,4841	191,8539	Не проводилося	
16	4484,2641	4446,2691	192,2313	4484,2676	4446,2723	192,2323	Не проводилося	
17	4483,2043	4445,3127	191,5403	4483,2085	4445,3154	191,5396	Не проводилося	
18	4481,0958	4443,0233	191,1027	4481,0921	4443,0233	191,1043	4481,0933	4443,0238 191,1034

* Виділені координати марок, що були відновлені після знищення у 2019, 2020 р.

Велике значення для встановлення положення деформаційних марок з потрібною точністю має однозначність встановлення приладу над опорною точкою «Штатив».

Піраміда штатив розміщується над точкою шляхом встановлення її на три опорні стрижні, забетоновані у ґрунт. Стрижні мають колір, який відповідає кольору кожної ніжки піраміди-штатива. Такий підхід дозволяє уникнути неоднозначностей, що могли б виникнути при встановленні іншої ніжки на відповідний стрижень.

Очікувана однозначність встановлення приладу із точністю по висоті $m_h = 2,5$ мм. Точність у плані складає $m_{xy} = 2,0$ мм. Штатив встановлюється на три стрижні, забетоновані у ґрунт на глибину $h_{закл} = 0,8$ м (нижче глибини промерзання ґрунту ($h_{пром} = 0,7$ м)).

Зменшення точності встановлення прилада по висоті обумовлене наявністю пилу і бруду на головках стрижнів. Для запобігання забруднення стрижнів, або пошкодження їх іржею у періоди між вимірюваннями верхні частини стрижнів змащуються солідолом і прикриваються дерев'яними ковпачками прямокутної форми.

СКП встановлення приладу на точку «Штатив» m_h і m_{xy} розраховувалися за результатами багатократних подвійних вимірювань вертикальних і горизонтальних кутів, проведених електронним тахеометром Trimble 3305 DR із точки «Штатив» у 2020 і 2021 рр. за формулою:

$$m_d = \sqrt{\frac{[dd]}{n}}$$

де $d_i = l_i' - l_i''$ – різниці парних значень;
 l_i' – результати вимірювань у 2020 р.;
 l_i'' – результати вимірювань у 2021 р.

Для визначення однозначності положення опорної точки «Штатив» відносно системи координат і висот, протягом травня-серпня 2021 р. було проведено роботи із багатократного геометричного нівелювання марки і стрижнів, на яких кріпиться піраміда-штатив.

Нівелювання проводилося нівеліром НВ-1 у період з 16 до 19 год., в умовах складного рельєфу, що поширений на території НДП НАН «Софієвка». Нівелірні ходи прокладалися в одному напрямку від стінного репера $m525$ з висотою $208,068$ м. до об'єкта «Грот Каліпсо». На об'єкті, в кінці нівелірного ходу рейки

виставлялися не лише на марку, закріплену як пристрій визначення координат і висот точки «Штатив», а і на стрижні.

Багатократність нівелювання і тривалий час (близько місяця), між проведенням нівелірних робіт дозволяють зробити висновки про однозначність/неоднозначність положення зазначених об'єктів у просторі. Результати нівелювання стрижнів і ґрунтової марки на точці «Штатив» приведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати геометричного нівелювання

Дата	Погода	Довжина ходу нівелювання Σl , м	Висота вихідного репера, $H_{вих}$	Сумарне перевищення по ходу Σh , м	Висота ґрунтової марки, $H_{шт.}$, м	Висоти стрижнів, м	
						7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
22.04	ясно	1096,5	208,068	-19,2570	188,8110	B	188,8160
						R	188,8390
						Y	188,8060
26.05	ясно	1168,5	208,068	-19,2590	188,8090	B	188,8150
						R	188,8380
						Y	188,8040
16.06	ясно	1187,0	208,068	-19,2585	188,8095	B	188,8135
						R	188,8365
						Y	188,8055
14.07	ясно	1176,5	208,068	-19,2585	188,8095	B	188,8155
						R	188,8355
						Y	188,8075
17.08	ясно	1200,5	208,068	-19,2565	188,8115	B	188,8155
						R	188,8365
						Y	188,8055
07.09р	ясно	1208,5	208,068	-19,2580	188,8100	B	188,8130
						R	188,8170
						Y	188,8060
<i>Середні значення</i>					188,8101	B	188,8148
						R	188,8371
						Y	188,8058

У таблиці виділені висоти ґрунтової марки на пункті «Штатив», а англійськими літерами B, R, Y – стрижні певного (чорного, червоного або жовтого) кольорів. Максимальні розходження значень висот $\Delta_i = H_{max} - H_{min}$, отриманих із результатів геометричного нівелювання, проведеного впродовж півроку, складає:

$$\Delta_B = 3,0 \text{ мм}, \Delta_R = 2,5 \text{ мм}, \Delta_Y = 3,5 \text{ мм}, \Delta_{Ц} = 2,5 \text{ мм}.$$

Проведена математична обробка результатів геометричного нівелювання. Враховуючи різні довжини нівелірних ходів, результати нівелювання опрацьовувалися як нерівноточні. СКП одиниці ваги для стрижнів склали $\mu=0,5$ мм, а для ґрунтової марки $\mu=0,4$ мм. Точність розрахунків описується середніми квадратичними похибками: СКП $m_{\mu}=0,15$ мм, $m_M = 0,10$ мм. Найімовірніші (середньовагові) значення висот точок за результатами обчислень становлять: $H_B= 188,8147$ м, $H_R=188,8371$ м, $H_{\gamma} = 188,8057$ м, $H_{\zeta} = 188,8101$ м. СКП найімовірніших значень висот точок відповідно складають: $m_{H_{стр}}= 1,2-1,3$ мм для стрижнів і $m_{H_{центр}}=1$ мм для ґрунтової марки. Це розходження, як і розходження у поточних значеннях висот стрижнів, обумовлене сферичною формою головки стрижнів, що унеможлиблює точне розміщення нівелірної рейки на них.

За результатами нівелірних робіт складено графік значень висот стрижнів і ґрунтової марки (рис. 1). Аналіз графіка показує, що зовнішні рухи стрижнів і ґрунтової марки на пункті «Штатив» впродовж весняно-літнього періоду 2021 р. не зафіксовано. Різниці висот не перебільшують 2 мм і викликані технологією проведення геометричного нівелювання, великими перепадами висот на ділянці (близько 20 метрів на 800 м дистанції) і зовнішніми, переважно, погодними чинниками.

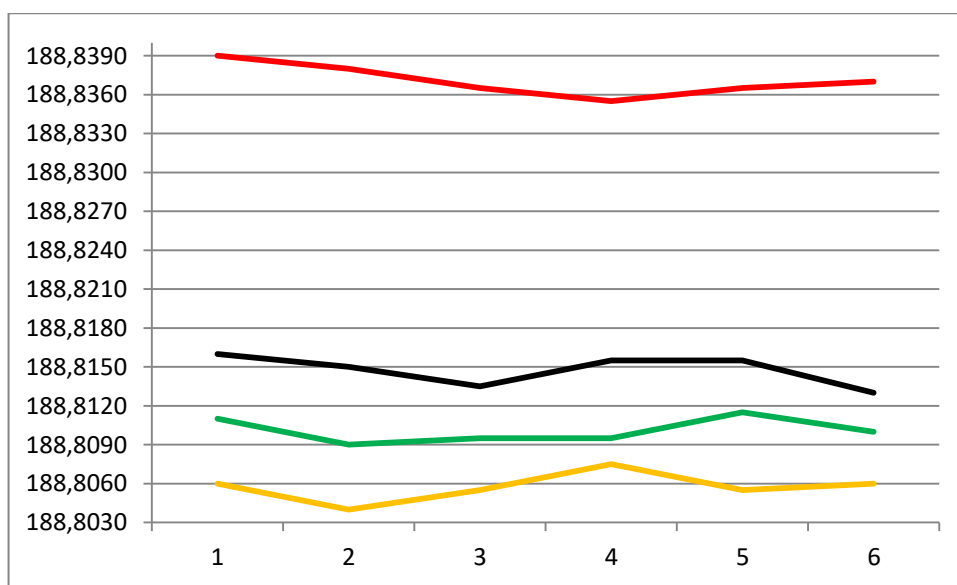


Рис. 1. Графіки рухів висотних показників стрижнів і марки на пункті «Штатив»

На основі вищевказаних результатів Лабораторія робить висновок про стійкість скельних мас на об'єкті «Грот Каліпсо». Щомісячні спостереження за рухами деформаційних марок проводити не доцільно. Пропонується проводити спостереження щоквартально.

Погодні умови і час спостереження мають відповідати умовам і часу спостережень, проведених у попередні періоди. Відновлення мережі деформаційних марок до стану 2019 р. визнане недоцільним через неможливість збереження марок, доступ до яких сторонніх осіб є вільним і не може бути

обмеженим або контрольованим. Адміністрація НДП НАН «Софієвка» відповідальність за стан мережі деформаційних марок на себе не бере.

3.2. Об'єкт «Грот Водоспаду»

Впродовж 2021 р. Лабораторією були проведені роботи зі створення і контролю мережі деформаційних марок на об'єкті Грот Водоспаду. Загальна кількість точок - 20 шт. З них: контрольні точки поза зоною деформації – 2 шт., деформаційні марки – 18 шт. Точки позначені жовтою фарбою, колами, діаметром 3 см.

Результатом є створена на стінах гроту (рис. 6-а), та на його вході і на виході (рис. 6-б) мережа точок, яка під час їх регулярного моніторингу має слугувати для контролю геометричних параметрів об'єкта. Через неможливість вимірювання кутових величин, прийняте рішення про створення мережі мікротрилатерації.

Для прив'язки мережі мікротрилатерації до зовнішньої геодезичної мережі у червні 2021 р. були виконанні супутникові радіо-навігаційні (GNSS) спостереження точок мережі, що знаходяться поза гротом (таблиця 3).

Таблиця 3

GNSS координати вихідних точок мережі мікротрилатерації на об'єкті «Грот Водоспаду»

Точки	X	Y	H
дм1	5394434,847	3354193,978	183,112
дм20	5394446,035	3354196,582	186,236

Впродовж весняно-літньо-осіннього періоду 2021 р. Лабораторією проведено 2 цикли вимірювань точок мережі мікротриангуляції: мірними сталевими рулетками і лазерними рулетками. За результатами польових вимірювань, проведених сталевую мірною рулеткою і лазерним ручним віддалеміром (рулеткою) Leica Disto D2 зазначено, що точність визначення довжин ліній цими інструментами в умовах криволінійних нерегулярних поверхонь стін складає від 3 до 8 мм. Мережа точок – деформаційних марок не задовольняє вимог інструкції по точності до мікротрилатерації $m_8=2$ мм. [5].

Виходом могло б бути однозначне закріплення деформаційних марок металевими стрижнями, кілками або цвяхами у стіни грота. Але, адміністрація НДП НАН «Софієвка» категорично заперечила такий варіант закріплення пунктів мережі мікротрилатерації з міркувань збереження туристичної привабливості об'єкта. Тому деформаційні марки були просто позначені жовтою фарбою на стінах гроту.

За таких умов мережа трилатерації не може бути створена через неоднозначність, що виникає при моделювання мережі на ПЕОМ.

Створення і моніторинг такої мережі вимагають інших підходів до вимірювання у замкнених просторах, обмежених нерегулярними поверхнями.

Роботи зі створення мікротрилатерації на об'єкті та обчислення, проведені по їх факту, показали, що для ефективного контролю за станом стін гроту використання металевих і лазерних рулеток не є доцільним.

Лабораторією розроблено, сконструйовано пристрій для контролю стану деформаційних марок на даному об'єкті – довгомір (рис. 2).

Прилад є телескопічним, тобто складається із двох штанг – профільованих алюмінієвих трубок товщиною 0,3 мм діаметром 24 і 19 мм при чому, штанга меншого діаметру вільно входить у штангу більшого діаметру, сталюого мірного гвинта, довжиною 1 м, сталюих конічно-циліндричних головок і мірної втулки (Рис. 2).

Нижня головка 3 жорстко кріпиться у нижній частині основної штанги 1. Нижня головка слугує для спирання на криволінійну поверхню у початку шуканої лінії. У нижню головку вкручується, і однозначно фіксується контрагайкою 6 мірний гвинт 8.

Мірний гвинт забезпечує поступовий рух на збільшення/зменшення сумарної довжини інструменту при вкручуванні/викручуванні мірної втулки 4 по мірному гвинту.

Мірна втулка жорстко кріпиться до нижньої частини мірної штанги 2. Її рух по мірному гвинту при вкручуванні/викручуванні забезпечує поступовий рух мірної штанги із/в основну штангу, що дає зміну сумарної довжини інструменту.



Рис. 2. Деталі інструменту «Довгомір»

Мірна штанга пропускається у верхню частину основної штанги. На бокову поверхню мірної штанги лазерним друкуванням нанесена мірна шкала із кроком 1 мм. Верхня головка 5 жорстко кріпиться у верхній частині мірної штанги і слугує для спирання на криволінійну поверхню у кінці шуканої лінії.

Стопорна гайка 7 накручується і заклепується у верхній частині мірного гвинта і унеможливорює подальший рух мірної втулки вгору, чим забезпечує конструктивні цілісність інструмента.

Суть способу вимірювання довгоміром полягає у розташуванні механізму між вимірюваними точками і механічному визначенні дистанції по міліметровій шкалі за допомогою вимірювального гвинта і циліндричних головок на його кінцях. В інструменті реалізований механічний спосіб вимірювання відстаней шляхом візуальної фіксації поступового руху вимірювальної втулки вздовж

вимірювального гвинта. Принцип вимірювання криволінійних поверхонь показаний на рис. 3.

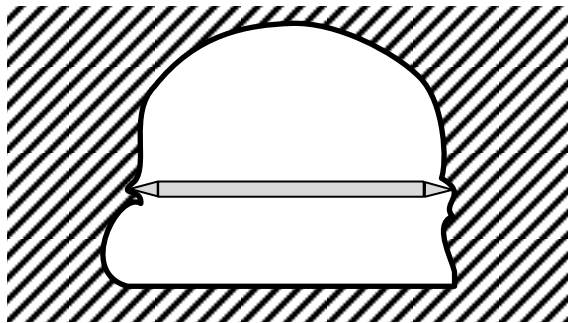


Рис. 3. Принцип вимірювання криволінійних нерегулярних поверхонь пристроєм «Довгомір»

3.3. Об'єкт «Лоток водоспаду»

На об'єкті «Лоток водоспаду» була створена мережа деформаційних марок – точок, позначених жовтою фарбою у кількості 16 штук. Для прив'язки мережі і контролю за станом деформаційних марок було обрано три точки поза зоною деформацій – стовпи містка через лоток водоспаду.

Експериментально виявлено, що розміщення геодезичного прилада на таких об'єктах не може забезпечити стійкість результатів вимірювань через особливості конструкції і форму стовпів та монолітну кам'яну і металеву поверхні містка на навколо стовпа, що не може забезпечити стійкості штатива. Лабораторією прийняте рішення про створення на об'єкті мережі мікротрилатерації. Мережа має створюватися шляхом вимірювання дистанцій від опорних точок до деформаційних марок із контролем безпосереднім лінійним вимірюванням по кінцевих деформаційних марках мережі.

Для проведення вимірювань на об'єкті Лабораторія створила пристрій – струбцину, яка має кріпитися на стовп містка і забезпечити однозначність розташування і наведення мірного приладу (лазерного віддалеміра Leica Disto D2). Для виявлення придатності цієї технології для вимірювань у травні 2021 р. Лабораторією були проведені тестові дослідження стійкості струбцини.

Методика досліджень: струбцина закріплювалася на стовпі, на висоті, позначеній на бетоні маркером (Рис. 4). На кінець струбцини кріпилася трьома болтами головка, в яку встановлювалася лазерна рулетка.



Рис. 4. Дослідження стійкості струбцини

Центрування головки контролювалося виском по залізничному костилеві з хрестовидною насічкою на вершині, закріпленому у ґрунті. Вимірювання проводилися багатократно, від 8-30 до 12-00 годин дня при ясній погоді, тискові повітря ≈ 745 мм. рт. ст., вологості повітря $\approx 80\%$, швидкості вітру 1,0 м/с. Вимірювалися 4 дистанції до об'єктів, що розташовані приблизно через 90-100° по горизонту. Об'єкти були позначені на стінах споруд олівцем, хрестами із довжиною рамена 10-15 мм. Були проміряні дистанції близько 9, 14, 16 і 18 м. Між циклами вимірювань струбцина знімалася зі стовпа і, через 40-50 хвилин, встановлювалася на стовп знову. Однозначність встановлення струбцини по висоті контролювалася на око. Однозначність встановлення струбцини у плані контролювалася виском. Разом впродовж двох днів проведено 32 вимірювання. За результатами вимірювань проведена попередня математична обробка, результати якої надані у таблицях 4 – 6.

Встановлення рівноточності вимірювань, проведених на різні дистанції описане у таблиці 4. По відхиленнях від ймовірніших значень за допомогою F-критерія встановлена рівноточність вимірювань $F < Fq$. Обчислення показують, що вимірювання є рівноточними.

Наявність/відсутність систематичних похибок у результатах вимірювань встановлювалося для пар вимірювань однакових дистанцій, отриманих у різні дні для різних відрізків часу. Обчислення проводилося за критерієм Стюдента. Враховуючи рівноточність вимірювань, відхилення від ймовірніших у міліметрах визначено, як середнє арифметичне із вимірювань чотирьох дистанцій у метрах. Обчислення показують, що $Z < t_{\beta}$, тобто, систематичних похибок у ряду вимірювань немає (табл. 5).

Таблиця 4

**Встановлення рівноточності спостережень, проведених на різні дистанції за
F-критерієм**

Статистика	F	1,25
Очікувана ймовірність	p	0,99
Рівень значимості	q	0,01
Ступені вільності	k	15
F-критерій	Fq	3,50
Висновок	Вимірювання є рівноточними	

Таблиця 5

**Дослідження наявності систематичних похибок у парних вимірюваннях
за критерієм Стьюдента**

Кількість вимірювань по днях	n	16				
Ступені вільності для днів	$k1, k2$	15				
Ступені вільності для блоку	k	31				
Відхилення від ймовірніших	Δ	0,0008	0,0000	0,0003	-0,0003	0,31
Статистика	Z	0,97				
Очікувана ймовірність	p	0,99				
Рівень значимості	q	0,01				
Коефіцієнт Стьюдента	$t\beta$	2,58				
Висновок	Вплив систематичних похибок не зафіксовано					

Аналіз ряду вимірювань на наявність/відсутність грубих помилок проводився за критерієм Гребса. Враховуючи дані таблиць 4 і 5, ряд вимірювань опрацьовувався як рівноточний, і такий, що не має систематичних похибок. Аналіз ряду із 32 вимірювань показав, що $Z < Zq$, тобто грубі помилки (промахи) у ряду вимірювань відсутні (табл. 6).

Таблиця 6

Аналіз ряду вимірювань на наявність грубих похибок

Максимальне відхилення від ймовірнішого	$x_{max}-X$	1,75
Статистика	Z	1,89
Рівень значимості	q	0,01
Критерій Гребса	Zq	2,58
Висновок	Грубі похибки в ряду вимірювань відсутні	

Попередні дослідження, дані яких представлені вище, дозволяють опрацьовувати ряд вимірювань, як рівноточний, і такий, що не має впливу систематичних і грубих похибок.

Далі був проведена обробка ряду вимірювань з метою аналізу закону розподілу випадкових похибок у ньому і перевірки його на відповідність нормальному закону розподілу похибок, що є характерним для точних геодезичних вимірювань. Обчислення ряду показало, що СКП окремого

вимірювання лінії склало $m_i=0,88$ мм, з точністю $m_m=0,11$ мм. СКП ймовірнішого значення лінії визначалося як $M = 0,16$ мм з точністю $m_M=0,02$ мм.

Згідно із технологією обробки рядів геодезичних вимірювань [2], ряд вимірювань був розбитий на 6 інтервалів, для оцінки показників функції розподілу і щільності випадкових похибок (табл. 7).

Таблиця 7

Аналіз показників функції розподілу і щільності випадкових похибок

Інтервал	Показники функції розподілу					θ_i	Емпіричні значення	
	v		ϑ_i	накоп. частоти	середн. відхил		віднош. частоти	функції розподілу
	від	до				частоти		
1	-1,62	-1,25	4	4	-1,44	0,13	0,13	0,22
2	-0,88	-0,62	6	10	-0,75	0,19	0,31	0,32
3	-0,50	-0,25	5	15	-0,38	0,16	0,47	0,27
4	0,13	0,50	10	25	0,31	0,31	0,78	0,54
5	0,75	1,12	5	30	0,94	0,16	0,94	0,27
6	1,38	1,75	2	32	1,56	0,06	1,00	0,11
Контроль						1,00		

Асиметрія функції розподілу склала $Sk = -0,05$, що говорить про незначне зміщення графіка функції ліворуч від графіка нормального розподілу. Екссес функції розподілу склав $Ek = -0,97$, що говорить про деяке зниження графіку функції. Функція є двомодальною, що чітко відслідковується на гістограмі емпіричної щільності розподілу випадкових похибок (рис. 5).

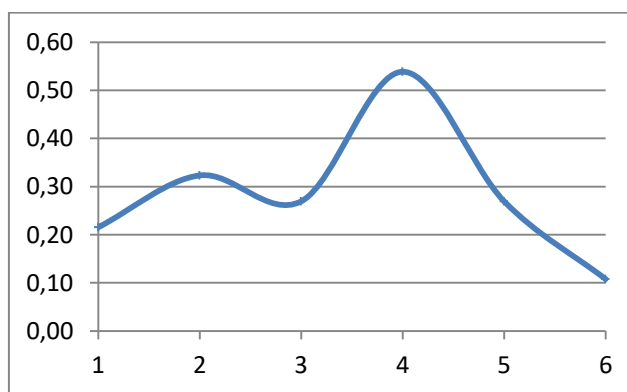


Рис. 5. Гістограма емпіричної щільності розподілу випадкових похибок

Графік емпіричної інтегральної функції розподілу (рис. 6) по інтервалах показує, що малі за абсолютним значенням випадкові похибки з'являлися під час вимірювань частіше, ніж великі, що відповідає нормальному закону.

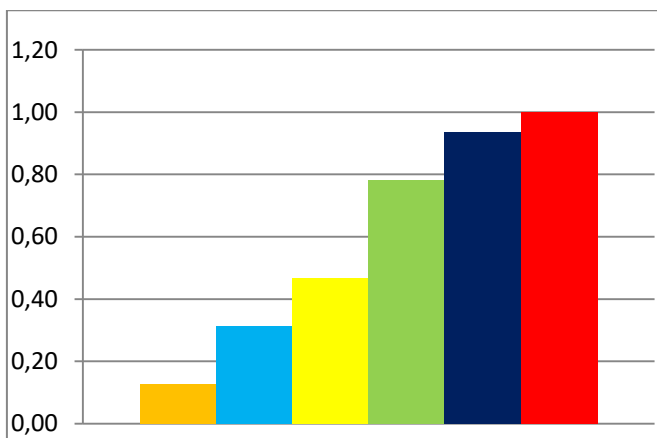


Рис. 6. Ступінчатий графік емпіричної інтегральної функції розподілу

Проведені математичні дослідження вказують на принципову відповідність розподілу випадкових похибок вимірювань нормальному закону розподілу, що є характерним для точних геодезичних робіт. Це дає можливість зробити висновок про стійкість струбцини при проведенні лінійних вимірювань на дистанціях до 20 м і рекомендувати її для подальшого використання у геодезичних роботах, пов'язаних із моніторингом стану мережі деформаційних марок на об'єкті «Лоток водоспаду». Така технологія потребує подальшого дослідження на дистанціях до 100 м з метою складання рекомендацій і технологічних карт вимірювань для працівників НДП НАН «Софіївка».

ВИСНОВКИ

1. Проведені дослідження та обробка даних вимірювань свідчать про стійкість скельних мас на об'єкті «Грот Каліпсо». Щомісячні спостереження за рухами деформаційних марок проводити не доцільно. Пропонується проводити спостереження щоквартально. Погодні умови і час спостереження мають відповідати умовам і часу спостережень, проведених у попередні періоди.
2. Відновлення мережі деформаційних марок до стану 2019 р. є недоцільним через неможливість збереження марок.
3. Для ефективного контролю за станом «Гроту водоспаду» використання металевих і лазерних рулеток не є доцільним. Лабораторією розроблено, сконструйовано пристрій для контролю стану деформаційних марок в умовах криволінійних нерегулярних поверхонь стін на об'єкті – довгомір.
4. Для проведення вимірювань на об'єкті «Лоток водоспаду» створено пристрій – струбцину.
5. Проведені дослідження та математична обробка даних вимірювань дають можливість зробити висновок про стійкість струбцини при проведенні лінійних вимірювань на дистанціях до 20 м і рекомендувати її для подальшого використання у геодезичних роботах, пов'язаних із моніторингом стану мережі деформаційних марок на об'єкті «Лоток водоспаду». Така технологія потребує подальшого дослідження на дистанціях до 100 м

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналітично-описова частина до стратегії розвитку Черкаської області. 2014. м. Черкаси. URL: http://www.ck-oda.gov.ua/docs/2014/31_10_2014.pdf
2. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок. К. : КНУБА, 2003. 216 с.
3. Загальна характеристика фізико-географічних та агрокліматичних умов Черкаської області. URL: http://agrometeo.od.ua/articles.php?article_id=57
4. Недвига М.В. Морфологічні критерії та генезис сучасних ґрунтів України. / М.В. Недвига. Київ: Сільгоспосвіта, 1994. 344 с.
5. Руководство по наблюдениям за деформациями фундаментов зданий и сооружений [Текст]/Науч.(исслед. ин-т оснований и подземных сооружений Госстроя СССР. Гос. Проектный ин-т «Фундаментпроект» Минмонтажспецстроя СССР. М.: Стройиздат, 1967. 93 с.