

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.276-291>

УДК 528.085.31

Яковенко Михайло Сергійович,

аспірант

кафедри геоінформатики і фотограмметрії,

Київський національний університет будівництва та архітектури,

yakovenko_ms@knuba.edu.ua,

<http://orcid.org/0000-0001-7800-8166>

Нестеренко Олена Вікторівна,

кандидат технічних наук, декан факультету, професор

кафедри геоінформатики і фотограмметрії

Київський національний університет будівництва та архітектури,

nesterenko.ov@knuba.edu.ua,

<http://orcid.org/0000-0001-6908-5821>

Зорін Євген Владиславович,

провідний інженер,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,

jeka084@meta.ua,

<http://orcid.org/0000-0002-1449-3278>

Бень Ігор Володимирович,

інженер,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,

igorben@gmail.com,

<http://orcid.org/0000-0003-3386-5433>

МОНІТОРИНГ СЕЗОННОГО РОЗКРИТТЯ ТРІЩИН НА ПРИКЛАДІ НАЦІОНАЛЬНОГО ЗАПОВІДНИКА «СОФІЯ КИЇВСЬКА»

Анотація: представлено інструментальний метод моніторингу змін ширини розкриття тріщин в конструкціях Національного заповідника «Софія Київська». За результатами спостережень побудовано графік розвитку зміни ширини розкриття тріщин в часі на протязі 5 років. Проаналізовано пряму залежність від вологості повітря та обернену залежність від температури повітря навколишнього середовища.

Ключові слова: моніторинг деформацій; розкриття-закриття тріщин; методи моніторингу; «SDM 50/500»; компаратор; пара марок; історико-культурна спадщини України; собор святої Софії.

Постановка проблеми. Внаслідок нерівномірних осідань основ і фундаментів, що викликають появу напруги та зусиль в несучих будівельних

конструкціях, виникає процес тріщиноутворення. Процес тріщиноутворення це один з проявів деформаційних процесів за яким необхідно слідкувати, а отже проводити регулярні інструментальні спостереження. Актуальність інструментального моніторингу передбачається бережливим ставленням до історико-культурної спадщини України, зокрема Національного заповідника «Софія Київська»

Аналіз досліджень і публікацій. Питання про збереження історико-культурної спадщини України після здобуття незалежності стоїть гостро, особливо після початку війни на сході, ворог постійно хоче знищити славу та багату історію й культуру. Також виникає ряд історичних суперечок про згадки в історичних джерелах про Україну, українців та українську культуру, такими джерелами є не тільки книги, а й такі унікальні заповідники як «Софія Київська», яка на своїх стінах зберегла фрески та розписи 11 сторіччя, що свідчить про українську культуру яка виникла більше 1000 років тому.

За законом України «Про охорону культурної спадщини» передбачено проведення та залучення низки заходів з метою збереження культурного надбання. Один з таких заходів передбачає комплексний моніторинг технічного стану пам'яток архітектури та ін.

Співробітники КДП «Геоінформатика» проводили інструментальний інженерно-геодезичний моніторинг деформацій комплексу споруд Національного заповідника «Софія Київська», та на основі власних спостережень авторами Дишлик А., Дишлик О. та Марков С. створювались періодичні видання [2-3], де наведено геодезичний підхід до контролю геометричних параметрів комплексу споруд заповідника.

Відділ основ і фундаментів та захисту територій, будівель і споруд від деформацій в складних інженерно-геологічних умовах ДП «Науково-дослідного інституту будівельних конструкцій» під керівництвом І. В. Матвеева з 2002 року спостерігав за розвитком тріщин в конструкціях комплексу споруд заповідника, результати спостереження публікувалися раз на рік в Звіті про науково-технічну роботу [10-11]. З 2014 року спостереженнями за змінами ширини розкриття тріщин займається лабораторія інструментальних та інженерно-геодезичних досліджень деформацій будівель і споруд, під керівництвом Ю. Б. Малашенка [12-13].

Співробітники Національного заповідника «Софія Київська» Молочкова Н.М., Куковальська Н.М. за результатами спостережень опублікували роботу «Комплексні геотехнічні дослідження Андріївської церкви і пагорба в процесі ремонтно-реставраційних робіт» в якій проведено аналіз моніторингу деформацій споруди Андріївської церкви під час реставрації пам'ятки [4].

Проблемою моніторингу технічного стану займається значна кількість вітчизняних науковців зокрема Іщенко Ю. І., Калюх Ю. І., Баран П. І. Шульц Р. В. та ін.

Іщенко Ю. І. у статті «Геотехнічний моніторинг при реконструкції поштової площі в м. Києві» приводить результати комплексного моніторингу що проводився під час реконструкції Поштової площі [5]. В публікації «Геотехнічні проблеми діагностики, моніторингу, розрахунку та інженерного захисту зсувонебезпечних схилів та протизсувних споруд у сейсмонебезпечних регіонах України» розглянуто практичний досвід заходів інженерного захисту інженерних споруд від зсувних процесів під час експлуатації та в процесі впливу від будівельних робіт [6].

Було проведено раніше аналіз методів моніторингу деформацій інженерних споруд в складних інженерно-геологічних умовах та опубліковано дві роботи [7-8].

Метою публікації. Розглянути метод інструментального спостереження за зміною ширини розкриття тріщин за допомогою компаратору «SDM 50/500». Дослідити залежність та провести аналіз від сезонних коливань температури та вологості повітря навколишнього середовища змін ширини розкриття тріщин за результатами п'ятирічного моніторингу тріщин в конструкціях собору святої Софії Національного заповідника «Софія Київська».

Основна частина.

Собор святої Софії — Премудрості Божої, Софія Київська або Софійський собор — християнський собор в центрі Києва, пам'ятка української архітектури та монументального живопису другого десятиріччя 11 ст. (1011-1018), одна з небагатьох уцілілих споруд часів Київської Русі, рисунок 1.



Рис. 1 – Загальний вигляд собору «Софія Київська»

Собор святої Софії є державним символом та культурною спадщиною України. Собор, що збудований тисячу років тому, під дією техногенного середовища що створювалось протягом цієї тисячі років відобразилося на технічному стані споруди собору. Внаслідок нерівномірних деформацій з'явилися тріщини, точний період появи тріщин не встановлено.

В 2002 році керівництво Національного заповідника «Софія Київська» звернулося до ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» з проханням встановити маяки та взяти під регулярний контроль розкриття тріщин.

Моніторинг тріщин будівлі, які входять до складу Національного заповідника «Софія Київська» проводиться за регламентом експлуатації, розробленого для збереження історико-культурного надбання України.

Для виконання моніторингу 15 листопада 2002 року на будівлях: собору святої Софії і Дзвіниці були встановлені спостережні станції, взятий нульовий відлік та розпочатий моніторинг змін ширини розкриття тріщин в конструкціях.

Мета моніторингу передбачає:

- визначення величин змін ширини розкриття тріщин в конструкціях досліджуваних споруд в часі;
- аналіз виявлених деформацій і зони їх поширення.

Спостереження за розкриттям тріщин виконуються з використанням різних вимірювальних пристроїв, які дають змогу одержати як якісні, так і кількісні показники розвитку тріщин.

Роботі з вимірювання змін ширини розкриття тріщин передували роботи з закладання спостережної станції. Спостережена станція являє собою визначену кількість спостережених пар марок із кольорового металу, установлених на конструкціях будівель (кожна з пари марок по обидва боки тріщин) - рисунок 2, а також переносного приладу «SDM 50/500» з компаратором для зняття показань величин деформацій.

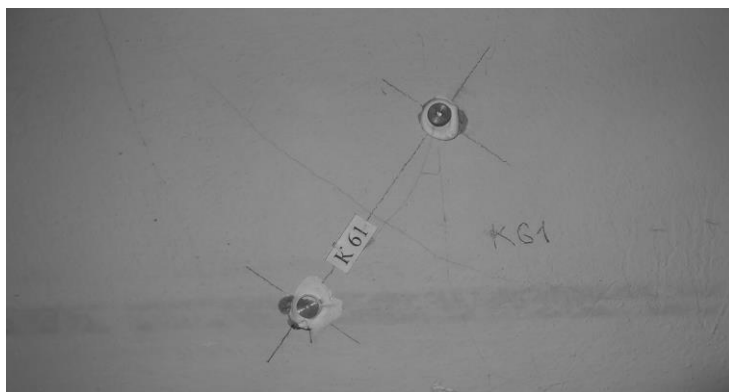


Рис. 2 – Зразок встановлення пари марок на цегляній стіні
(пара марок К-61)

Для зняття відліків використовувався вимірювач деформацій «SDM 50/500». Прилад оснащений індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Межа вимірів змін ширини розкриття тріщин — до 10 мм.

Комплект штанг на приладі дає змогу проводити виміри розкриття тріщин на базі 50, 100, 200, 300, 400 та 500 мм (рисунок 3). Закріплена на базі змінна ніжка служить для фіксації вибраної довжини. Обидві ніжки знизу мають кулеподібну поверхню (рисунок 4). Вони контактують з конічними заглибленнями (гніздами) на спостережних марках, установлених по обидві сторони тріщини.

Марки по конструкції та принципу їх встановлення бувають двох типів: марка з анкером та марка безанкерна.

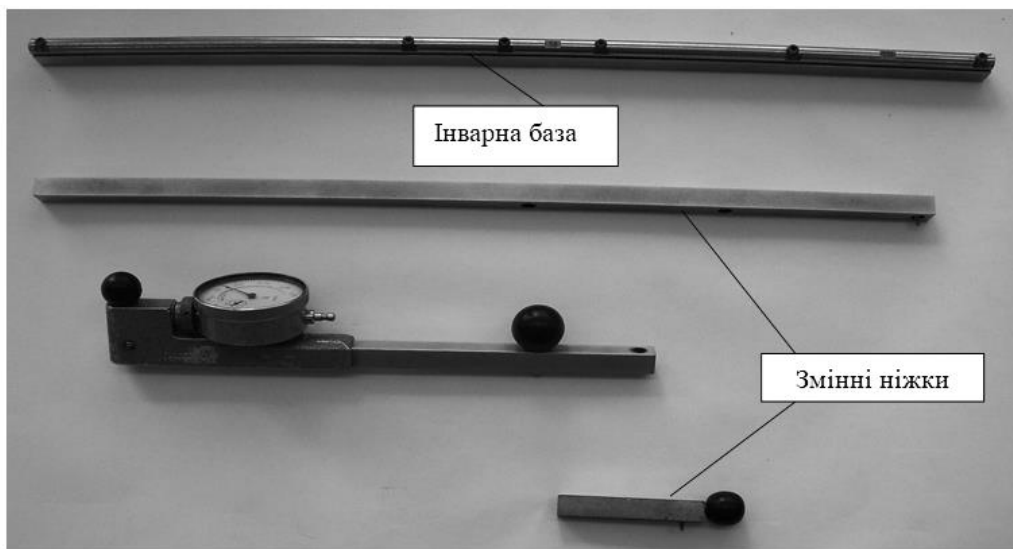


Рис. 3 – Прилад «SDM 50/500» в комплекті із змінними ніжками та інварною базою



Рис 4 - Загальний вигляд приладу «SDM50/500»

Конструкція анкерної марки та схема її установки на конструкціях будівлі представлена на рисунку 5.

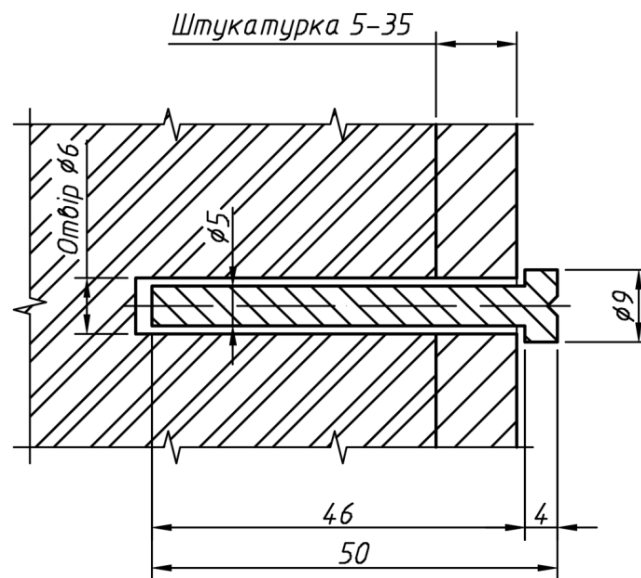


Рис. 5 - Схема установки марки анкерного типу для визначення змін ширини розкриття ширини тріщин на будівлях і їх конструктивних елементах

Марки виготовленні з бронзового, круглого в перерізі стрижня $\text{Ø} 9$ мм. Висота головки марки становить 4 мм, а довжина 20-60 мм, в залежності від товщини штукатурного шару цегляної кладки. В головці марки передбачено конічне заглиблення (гніздо) діаметром 2,5 мм, в яке встановлюється ніжка приладу (компаратора) з кульковим наконечником. Конусне заглиблення марки та кульковий наконечник ніжки приладу забезпечують надійний контакт поверхонь цих елементів в межах висоти заглиблення, в зв'язку з чим досягається зняття показань приладу фактично без помилок.

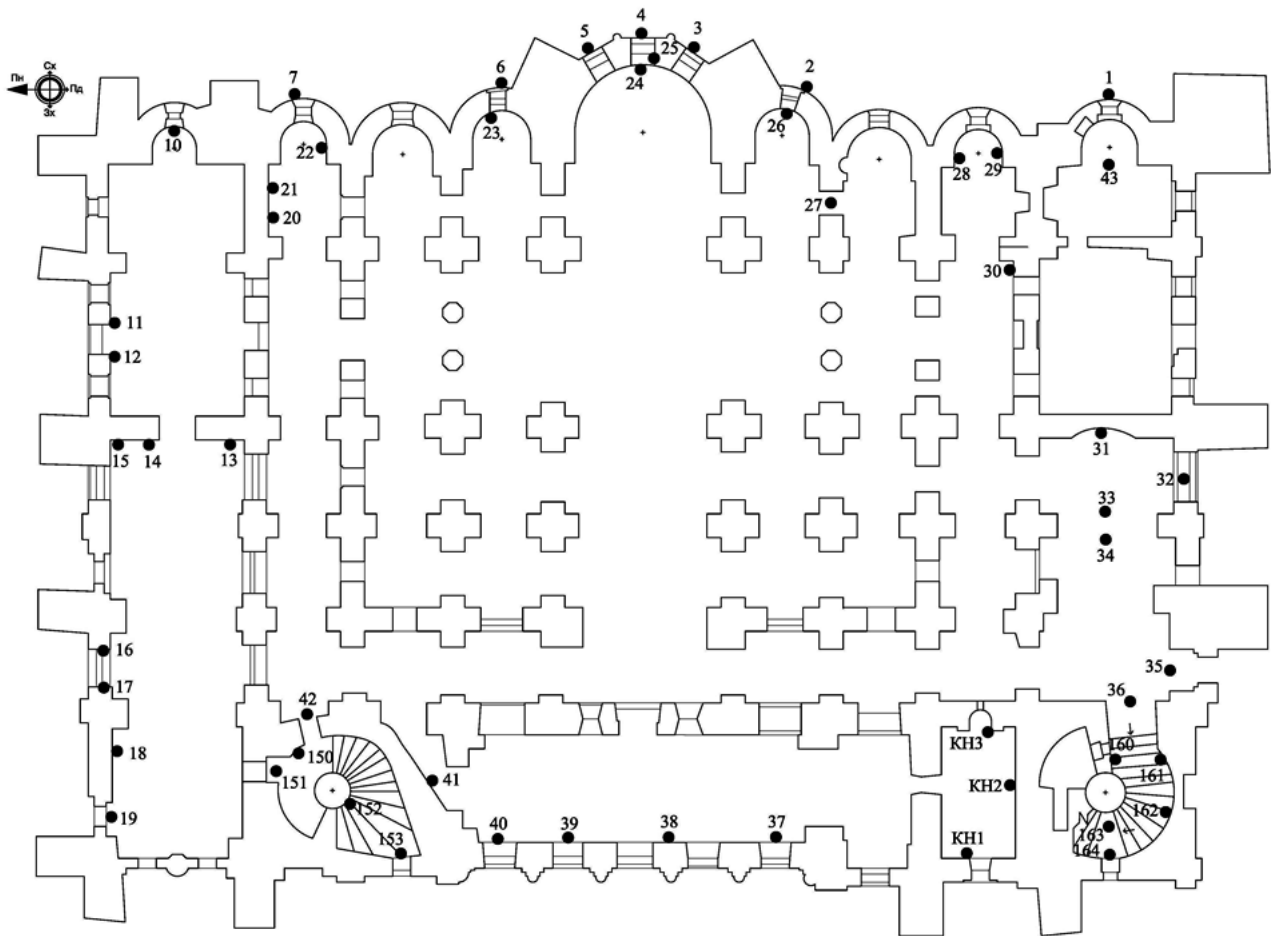
Закладання марок велись у доступні для спостережень місця, де найбільше проявились процеси тріщиноутворення.

Марки закріплювались на конструкціях за допомогою анкерів, для чого в конструкції перфоратором просвердлювались отвори $\text{Ø} 6$ мм на глибину 30-70 мм. Після очищення заглиблення від пилу воно ін'єктувалось цементно-гіпсовим тістом, в яке вставлялись анкери, а головки марок залишались на поверхні конструкцій.

Після затвердіння гіпсового тіста в заглибленні, марки використовуються в роботі по зняттю відліків.

В місцях, де не було можливості встановлювати марки з анкером оскільки фрески, розпис приміщень та інше, за допомогою клею встановлювались безанкерні марки.

Схеми розташування спостережених марок, встановлених на конструкціях першого поверху Софійського Собору представленні на рисунку 6.



Умовні позначення:

- - пара марок;
- 10. КНЗ - номер пари марок.

Рис. 6 - Схема розташування пар марок на тріщинах першого поверху собору святої Софії

При знятті відліків по індикатору необхідно слідкувати за тим, щоб кінчні заглиблення були очищеними від бруду, а виміри величин ширини тріщин брались двічі: прямий відлік та із зміною кінців бази на 180° . Перший раз шарнірна ніжка вставлялась в ліву від тріщини марку, другий - в праву. Виконання замірів двома напівприйомами дає змогу значною мірою виключити випадкову та систематичну помилки.

Величина зміни ширини тріщини визначалась із різниці нульового і наступних за ним в часі відліків. При кожному вимірі бази береться відлік на контрольній рейці. Результатом є різниця цих двох значень.

Температурні коливання контрольної рейки до уваги не брались, так як вона виготовлена з інварного сплаву і має незначний коефіцієнт температурного розширення ($\alpha \approx 0,000002$).

Результати спостережень заносяться в спеціальний журнал (Таблиця 1). В таблицях, для більш повного уявлення про характер розвитку змін ширини розкриття тріщин в часі, в стовпчиках $\Delta L = \Delta l_i - \Delta l_0$ приведені величини змін ширини розкриття тріщин по відношенню до першого циклу вимірів 15 листопада 2002 року.

Знак «+» означає, що тріщина розкривається, знак "-", що закривається.

До уваги прийнято пари марок не всієї спостережної станції, що зазначені на рис. 6, а лише пари марок які найбільш активні в період зміни умов навколишнього середовища, серед переліку цих пар марок виявилися 27,24,29,32,33 та 37, що зазначені в таблиці 1.

Надмірна чутливість вище перелічених пар марок ймовірно викликана фізичною величиною, мається на увазі фактичний розмір ширини розкриття в момент встановлення спостережної станції. Оскільки тріщини в стінах собору святої Софії утворювались не одне століття та враховуючи те, що на стінах знаходяться знамениті фрески 11 століття, які слід підтримувати в належному стані, визначити фактичну ширину розкриття неможливо.

Таблиця 1. - Журнали спостережень за змінами ширини розкриття тріщин в конструкціях будівель і споруд Національного заповідника «Софія Київська»

№ пари марок	Число, місяць, рік											
	01.08.2018				05.12.2018				19.09.2019			
	Температура повітря, °С		27		Температура повітря, °С		1		Температура повітря, °С		15	
	Вологість повітря, %		45		Вологість повітря, %		95		Вологість повітря, %		49	
	Заміри, мм											
	відлік по марка х	контр. база	Δl_{18}	$\Delta L_{18} = \Delta l_{18} - \Delta l_0$	відлік по марка х	контр. база	Δl_{19}	$\Delta L_{19} = \Delta l_{19} - \Delta l_0$	відлік по марка х	контр. база	Δl_{20}	$\Delta L_{20} = \Delta l_{20} - \Delta l_0$
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
24	3.92	2.00	1.92	-0.35	4.45	1.72	2.73	0.46	3.41	1.44	1.97	-0.30
29	2.77	2.00	0.77	0.24	2.37	1.72	0.65	0.12	2.07	1.44	0.63	0.10
32	4.91	2.00	2.91	0.18	4.46	1.62	2.84	0.11	4.32	1.46	2.86	0.13
33	4.88	2.00	2.88	-0.36	5.24	1.62	3.62	0.38	4.56	1.46	3.10	-0.14
37	5.06	2.07	2.99	-0.01	5.38	2.30	3.08	0.08	5.29	2.30	2.99	-0.01

За результатами обчисленої зміни ширини розкриття тріщин побудовано графік розвитку в часі за період спостережень з 12.08.2014 по 03.12.2019 (1939 днів), графік представлено на рисунку 7.

Вихідними даними для побудови графіку стали значення ΔL (величина зміни ширини розкриття тріщин) та час (період спостереження та дати проведення зйомки).

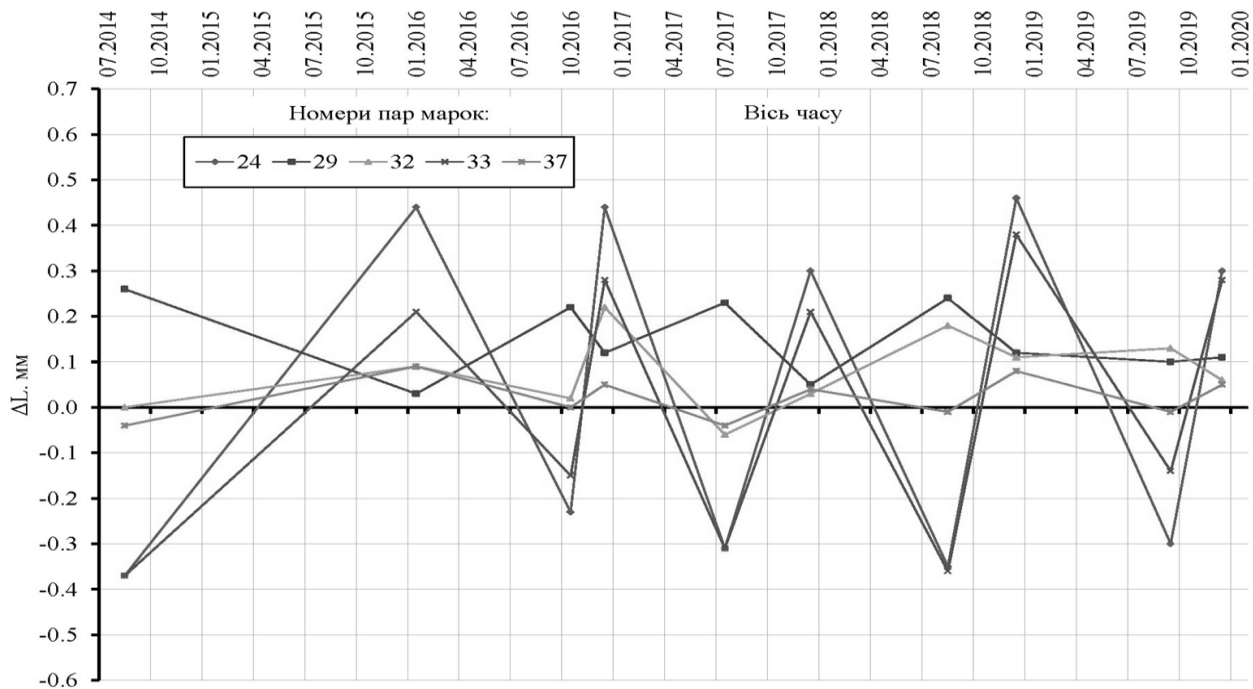


Рис. 7 – Графік змін в часі ширини розкриття (ΔL) тріщин в конструкціях першого поверху собору «Святої Софії»

З графіка на прикладі тріщини №24 видно, що ширина розкриття не значна коливається в межах від -0.37 до +0.46 мм. Максимальне закриття -0.37 мм було зафіксовано 12 серпня 2014 року, температура повітря в той день досягала +32°C, а вологість повітря 35 %. Максимальне відкриття +0.46 мм зафіксовано 5 грудня 2018 року, температура повітря тоді знизилася до +1°C, вологість повітря зросла до 95%. Слід зазначити, що максимальні показники температури за даним проміжком часу (12.08.2014 – 03.12.2019) становлять від -1 до +32 °C, вологість від 35 до 97%, що приблизно співпадають з максимальними значеннями ширини розкриття тріщин в конструкціях собору «Святої Софії». Для аналізу залежності сезонного коливання зміни ширини розкриття тріщин обрано пару марок №24, оскільки вона зазнає максимальної чутливості до сезонної зміни умов навколишнього середовища. Щоб прослідкувати чітку залежність, побудовано графік залежності ширини розкриття від температури

повітря навколишнього середовища - представлено на рисунку 8, та графік залежності ширини розкриття тріщин від вологості повітря – рисунок 9.

Вихідними даними для побудови графіку на рисунку 8, прийнято величину ΔL (зміна ширини розкриття тріщин), час (період спостереження та дати проведення зйомки) та температура повітря навколишнього середовища на момент кожної зйомки. Для побудови графіка на рисунку 9, прийнято вихідні дані аналогічні що й на попередньому рисунку відмінність лише в параметрі умов навколишнього середовища, температуру повітря було змінено на вологість.

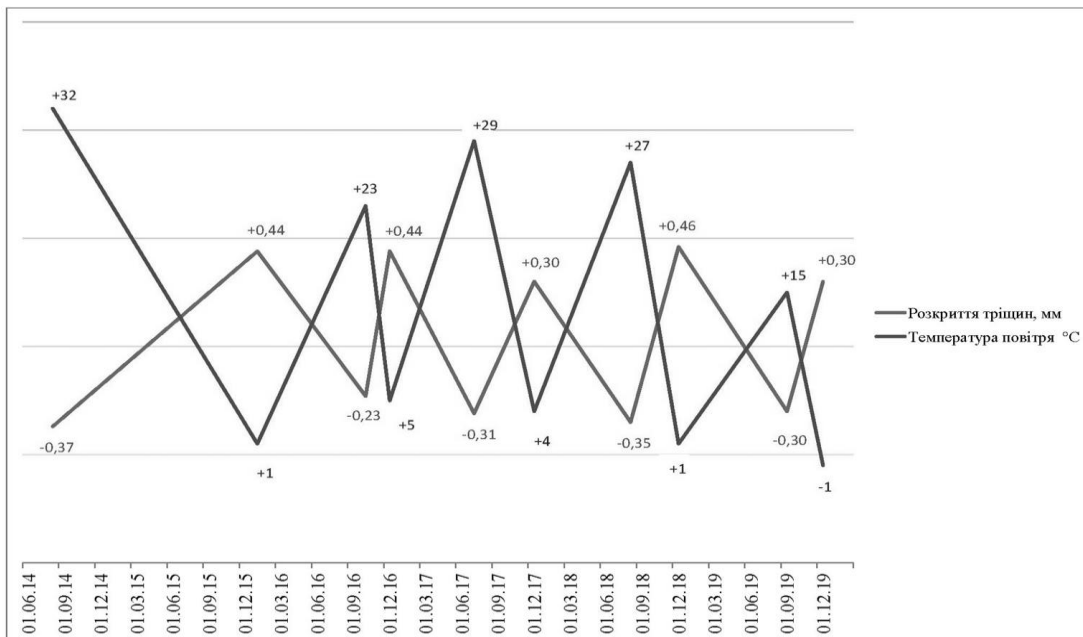


Рис. 8 – Графік залежності розкриття тріщин від температури повітря

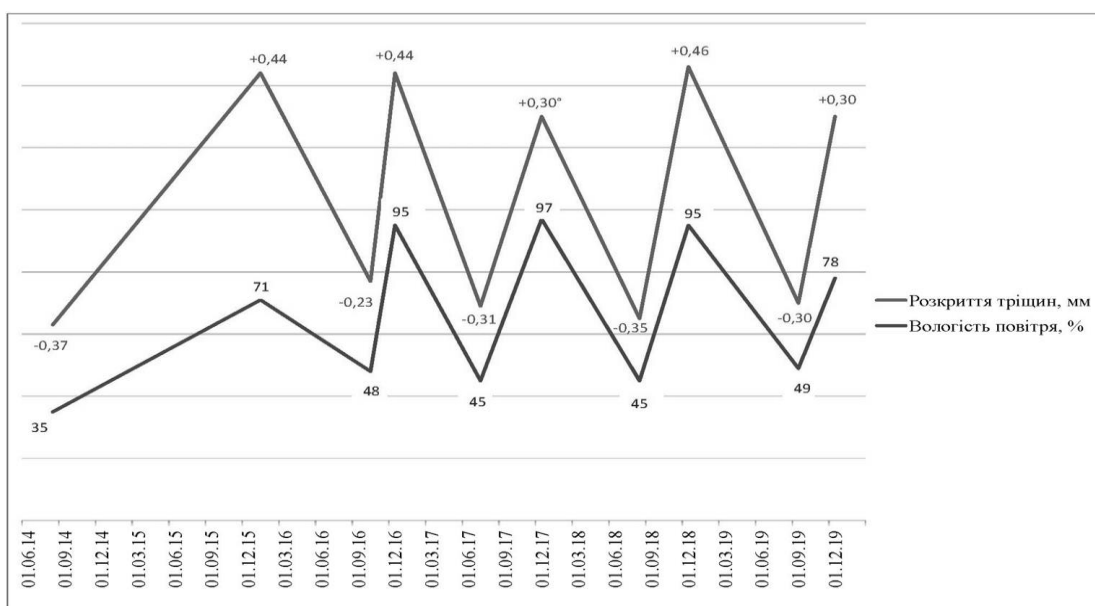


Рис. 9 – Графік залежності розкриття тріщин від вологості повітря

З графіку залежності розкриття тріщин від температури повітря прослідковується обернена залежність розкриття та закриття, тобто при низьких температурах ширина розкриття збільшується (тріщина відкривається), при високих температурах тріщини закриваються, тобто показники ширини розкриття досягають мінімальних значень. Коливання ширини розкриття та закриття тріщин можемо пояснити лінійним розширенням будівельного матеріалу (цегла, бетон та ін.), при нагріванні матеріал розширився – тріщина закрилася, при охолодженні матеріал звужився – тріщина відкрилася, це так зване «споруда дихає». Коливання ширини розкриття тріщин від впливу температури досягає 0.81 мм при зміні температури на 31 °С.

За графіком залежності від вологості повітря спостерігається пряма залежність, при максимальній вологості максимальне розкриття, при низькій вологості максимальне закриття тріщин. При збільшенні вологості на 50% спостерігається розкриття тріщини до 0.81 мм. При мінімальному збільшенні вологості, що становить 23% відсотки в 2016 році збільшення ширини розкриття було зафіксовано на 0.67 мм при температурі повітря +1°С.

Висновки. Розглянуто унікальний метод моніторингу ширини розкриття тріщин в конструкціях унікального об'єкту історико-культурної спадщини України - Національного заповідника «Софія Київська». Представлений метод моніторинг за допомогою приладу «SDM 50/500» (компаратору) з індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм та процес обробки і аналізу отриманих даних.

За результатами спостереження ширини розкриття тріщин в конструкціях першого поверху собору «Святої Софії» побудовано графік розвитку розкриття в часі (п'ять років). Розглянуто пряму залежність від вологості повітря та обернену залежність від температури повітря навколишнього середовища. Встановлено, що від зміни температури повітря навколишнього середовища на 31 °С зміни ширини розкриття тріщин досягає до 0.81 мм, залежність прослідковувалася на протязі п'яти років моніторингу.

Слід взяти до уваги температуру та вологість будівельного матеріалу, тобто стін під час зйомки показників по парах марок. Слід дослідити особливості будівельного матеріалу та фізичні властивості з якого зведений собор «Святої Софії», оскільки собор було збудовано в 11 сторіччі.

Буде доцільно спрогнозувати температурні коливання зміни ширини розкриття та інструментально підтвердити. З метою врахування температурних коливань зміни ширини розкриття під час спостережень за тріщинами, які можуть відкриватися внаслідок руйнування будівель.

Необхідно активно приділити увагу методам вивчення зміни ширини розкриття тріщин та скласти нормативні документи, вказівки, інструкції оскільки один з найрозповсюдженіших методів спостережень за тріщинами являється спостереження за гіпсовими маяками, що в умовах сьогодення не актуально. Необхідно доопрацювати норми комплексного моніторингу з встановлення гранично допустимих величини зміни ширини розкриття.

Список джерел:

1. Закон України Про охорону культурної спадщини. *Відомості Верховної Ради (ВВР)* К. : 2000. Вип. 39 С.333.

2. Дишлик А., Марков С, Кожан Е. Комплексний геотехнічний моніторинг як основа збереження пам'яток архітектури. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. К. : 2010. Вип. 2. С.135-141.

3. Дишлик ОП. Система контролю геодезичних параметрів в складі комплексного геотехнічного моніторингу об'єктів національного заповідника Софія Київська. *Світ геотехніки*. К. : 2016. Вип. 2. С. 30-3.

4. Куковальська Н.М., Молочкова Н.М. Комплексні геотехнічні дослідження Андріївської церкви і пагорба в процесі ремонтно-реставраційних робіт. *Будівельні конструкції*. К. : 2016. Вип. 83. С. 347-58.

5. Іщенко Ю. І. Геотехнічний моніторинг при реконструкції Поштової площі в м. Києві. *Екологічна безпека та природокористування*. К. : 2020. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.111-122>

6. Калюх Ю.І., Трофимчук О.М., Яковлев Є.О. та ін. Геотехнічні проблеми діагностики, моніторингу, розрахунку та інженерного захисту зсувонебезпечних схилів та протизсувних споруд у сейсмонебезпечних регіонах України. Досвід Державного науково-дослідного інститута будівельних конструкцій за останні 5 років. *Світ Геотехніки*. К. : 2013. С. 25-35.

7. Яковенко М., О. Нестеренко. Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. К. : 2020. Вип. 55. С. 341-350.

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350>

8. Яковенко М. С., Нестеренко О.В. Аналіз методів геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд та зсувних процесів ґрунтових масивів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. К. : 2020. Вип. 56. С.345–363. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.56.345-363>

9. Іщенко Ю. І., Ю. С. Слюсаренко, Ю. Б. Мелашенко та ін. Геотехнічний моніторинг в умовах ущільненої міської забудови. *Наука та будівництво*. К. : 2020. Вип. 2. С. 24–38.

10. Матвеев І.В. Створення спостережної станції за тріщинами в конструкціях Софіївського Собору та Дзвіниці і проведення спостережень за

ними. *Звіт про НТР. Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (НДІБК)*. К. : 2003.

11. Матвеев І.В. Розширення спостережної станції за тріщинами в конструкціях дзвіниці і софійського собору заповідника Софія Київська” та проведення спостережень за ними на протязі тривалого періоду. *Звіт про НТР. Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (НДІБК)*. К. : 2004. Том 2.

12. Мелашенко Ю. Б. Інженерно-технічний нагляд за деформаціями (тріщинами) будівель національного заповідника «Софія Київська». *Звіт про НТР. Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (НДІБК)*. К. : 2015.

13. Мелашенко Ю. Б., Яковенко М. С. Визначення деформацій (змін ширини розкриття тріщин) в конструкціях будівель та споруд Національного заповідника «Софія Київська». *Звіт про НТР. Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (НДІБК)*. К. : 2019.

References

1 Law of Ukraine On the Protection of Cultural Decline For the sake of the Supreme. (2000). [Zakon Ukrainy Pro okhoronu kulturnoi spadshchyny (Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR).] Vyp N 39, P-p. 333. (in Ukrainian).

2. Dyshlyk A, Markov S, Kozhan E. (2010). Comprehensive geotechnical monitoring as a basis for the preservation of architectural monuments [Kompleksnyi heotekhnichni monitorynh yak osnova zberezhennia pamiatok arkhitektury.] Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. Modern achievements of geodetic science and production, Vyp N 2, P-p 135-141. (in Ukrainian).

3. Dyshlyk OP. (2016). System of control of geodetic parameters as a part of complex geotechnical monitoring of objects of national reserve Sofia Kyivska. [Systema kontroliu heodezychnykh parametriv v skladi kompleksnoho heotekhnichnoho monitorynhu obektiv natsionalnoho zapovidnyka Sofiia Kyivska.] Svit heotekhniky. Vyp N 2, P-p 30-3 (in Ukrainian).

4. Kukovalska N.M., Molochkova N.M. (2016). Complex geotechnical studies of St. Andrew's Church and the hill in the process of repair and restoration works. [Kompleksni heotekhnichni doslidzhennia Andriivskoi tserkvy i pahorba v protsesi remontno-restavratsiinykh robit.] Budivelni konstruktsii. Vyp 83, P-p 347-58 (in Ukrainian).

5. Ishchenko Yu. I. (2020). Geotechnical monitoring during the reconstruction of the Post Square in Kyiv. [Heotekhnichni monitorynh pry rekonstruktsii Poshtovoi ploshchi v m. Kyievi.] Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia.

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.111-122> (in Ukrainian).

6. Kaliukh Yu.I., Trofymchuk O.M., Yakovlev Ye.O. (2013). Geotechnical problems of diagnostics, monitoring, calculation and engineering protection of landslide slopes and landslide structures in seismic regions of Ukraine. Experience of the State Research Institute of Building Structures for the last 5 years. [Heotekhnichni problemy diahnostryky, monitorynhu, rozrakhunku ta inzhenerneho zakhystu zsvonebezpechnykh skhyliv ta protyzsuvnykh sporud u seismonebezpechnykh rehionakh Ukrainy. Dosvid Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu budivelnykh konstruksii za ostanni 5 rokiv] Svit Heotekhniky, P-p 25-35 (in Ukrainian).

7. Yakovenko M., Nesterenko O. (2020). Overview of types of geodetic monitoring of buildings and structures in complex engineering and geological conditions. [Ohliad vydiv heodezychnoho monitorynhu budivel i sporud v skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh] Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. Vyp 55, P-p 341-350. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350> (in Ukrainian).

8. Yakovenko M. S., Nesterenko O.V. (2020). Analysis of methods of geodetic monitoring of deformations of engineering structures and landslides of soil massifs. [Analiz metodiv heodezychnoho monitorynhu deformatsii inzhenernykh sporud ta zsvnykh protsesiv gruntovykh masyviv] Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. Vyp 56, P-p 345–363. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.56.345-363> (in Ukrainian).

9. Ishchenko Yu. I., Sliusarenko Yu. S., Melashenko Yu. B. (2020). Geotechnical monitoring in the conditions of the condensed city building. [Heotekhnichni monitorynh v umovakh ushchilненоi miskoi zabudovy] «Nauka ta budivnytstvo». Vyp 2, P-p 24–38 (in Ukrainian).

10. Matvieiev I. V. (2003). Creation of an observation station for cracks in the structures of St. Sophia Cathedral and the Bell Tower and observation of them. [Stvorennia sposterezhnoi stantsii za trishchynamy v konstruksiiakh Sofiiivskoho Soboru ta Dzvinysi i provedennia sposterezhen za nymy] Zvit pro NTR. Derzhavnyi naukovo-doslidnyi instytut budivelnykh konstruksii (NDIBK). (in Ukrainian).

11. Matvieiev I. V. (2004). Expansion of the observation station for cracks in the structures of the bell tower and St. Sophia Cathedral of the Sofia Kyivska Reserve and conducting observations over them for a long period. [Rozshyrennia sposterezhnoi stantsii za trishchynamy v konstruksiiakh dzvinysi i sofiiskoho soboru zapovidnyka Sofiia Kyivska" ta provedennia sposterezhen za nymy na protiazhi tryvaloho periodu]. Tom 2. Zvit pro NTR. Derzhavnyi naukovo-doslidnyi instytut budivelnykh konstruksii (NDIBK). (in Ukrainian).

12. Melashenko Yu. (2015). Engineering and technical supervision of deformations (cracks) of the buildings of the national reserve "Sophia of Kyiv". [Inzhenerno-tekhnichnyi nahliad za deformatsiiamy (trishchynamy) budivel

natsionalnoho zapovidnyka «Sofia Kyivska»] Zvit pro NTR. Derzhavnyi naukovodoslidnyi instytut budivelnykh konstrukttsii (NDIBK). (in Ukrainian).

13. Melashenko Yu., Yakovenko M. (2019). Determination of deformations (changes in the width of cracks) in the structures of buildings and structures of the National Reserve "Sophia of Kyiv". [Vyznachennia deformatsii (zmin shyryny rozkryttia trishchyn) v konstrukttsiiakh budivel ta sporud Natsionalnoho zapovidnyka «Sofia Kyivska»] Zvit pro NTR. Derzhavnyi naukovodoslidnyi instytut budivelnykh konstrukttsii (NDIBK). (in Ukrainian).

Аннотация

Яковенко Михаил Сергеевич, аспирант кафедры геоинформатики и фотограмметрии, Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

Нестеренко Елена Викторовна, кандидат технических наук, профессор кафедры геоинформатики и фотограмметрии, Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

Зорин Евгений Владиславович, ведущий инженер, ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций».

Бень Игорь Владимирович, инженер, ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций».

Мониторинг сезонного раскрытия трещин на примере Национального заповедника «София Киевская»

Представлен инструментальный метод мониторинга изменений ширины раскрытия трещин в конструкциях Национального заповедника «София Киевская». По результатам наблюдений построен график развития изменения ширины раскрытия трещин во времени на протяжении 5 лет. Проанализировано прямую зависимость от влажности воздуха и обратную зависимость от температуры воздуха окружающей среды.

Ключевые слова: мониторинг деформаций; раскрытия-закрытия трещин; методы мониторинга; «SDM 50/500»; компаратор; пара марок; историко-культурное наследие Украины; собор святой Софии.

Annotation

Mykhailo Yakovenko, Phd student, Department of Geoinformatics and Photogrammetry, Kiev National University of Construction and Architecture.

Olena Nesterenko, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Geoinformatics and Photogrammetry, Kiev National University of Construction and Architecture.

Yevhen Zoryn, Senior Engineer, State Enterprise "State Research Institute of Building Structures".

Igor Ben, Engineer, State Enterprise "State Research Institute of Building Structures".

Monitoring of seasonal opening of cracks on the example of Sofia Kyivska National Reserve

An instrumental method for monitoring changes in the width of crack opening in the constructions of the National Reserve "Sofia Kievska" is presented. Due to the uneven sediment of the foundations, causing the appearance of stress and effort in the load-bearing building structures, there is a process of cracking. The process of cracking is one of the manifestations of deformation processes that need to be monitored, and therefore to conduct regular instrumental observations.

The urgency of instrumental monitoring is assumed to be a careful attitude to the historical and cultural heritage of Ukraine, in particular the National Reserve "Sofia Kievska".

The main task of the publication was to consider the method of instrumental observation of the change in the width of the crack opening using the comparator "SDM 50/500". Investigate the dependence and analysis of seasonal fluctuations in ambient temperature and humidity changes in the width of crack opening based on the results of five years of monitoring of cracks in the structures of St. Sofia Cathedral of the National Reserve "Sofia Kievska".

The article presents the results of long-term monitoring by a unique method using the comparator "SDM 50/500" width of cracks in the walls of the historical and cultural monument of architecture and history of Ukraine of St. Sofia Cathedral of National Reserve "Sofia Kievska". The presented monitoring results were collected during five years of work.

According to the results of observations, a graph of the development of changes in the width of crack opening over time over 5 years is constructed. The direct dependence on air humidity and the inverse dependence on the ambient air temperature are analyzed with the help of the constructed dependence graphs.

The results of the study provided an opportunity to develop clear recommendations for further studies to monitor the development of cracks. The main direction of further research will be to improve the method of surveying the change in the width of the crack opening using a portable comparator "SDM 50/500".

Key words: monitoring deformation; opening and closing crack; methods monitoring, SDM 50/500; comparator; pair of stamps; historical and cultural heritage of Ukraine; "Sofia Kievska".