



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-8>

УДК 528.4



МЕЛАШЕНКО Ю. Б.

Канд. техн. наук, завідувач відділу ДП «Державний науково-дослідний інститут», м. Київ, Україна, e-mail: melashenko@ndibk.gov.ua тел.: +38 (050) 415-36-62 ORCID: 0000-0001-9270-6649



ЯКОВЕНКО М. С.

Завідувач лабораторії ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», здобувач ступеня PhD кафедри геоінформатики і фотограмметрії Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: yakovenko@ndibk.gov.ua тел.: +38 093 613 53 19 ORCID: 0000-0001-7800-8166



ЗОРІН Є. В.

Провідний інженер ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: zorin@ndibk.gov.ua тел.: +38 098 624 69 87 ORCID: 0000-0002-1449-3278



БЕНЬ І. В.

Інженер I категорії ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: i.ben@ndibk.gov.ua тел.: +38 093 443 91 38 ORCID: 0000-0003-3386-5433

БАГАТОРІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ГЕОДЕЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

АНОТАЦІЯ

Моніторинг деформацій будівель і споруд є складним та відповідальним процесом виконання геодезичних спостережень протягом певного періоду часу. У публікації розглянуті об'єкти моніторингу, за якими ведуться геодезичні спостереження понад 10 років. Спостереження на цих об'єктах виконується лабораторією інструментальних та інженерно-геодезичних досліджень деформацій будівель і споруд ДП НДІБК.

Актуальність моніторингу виникає на різних етапах життєвого циклу будівель і споруд. На об'єктах історико-культурної спадщини та об'єктах спеціального призначення моніторинг деформацій передбачений регламентом експлуатації. Моніторинг на етапі будівництва в умовах щільної міської забудови є обов'язковим впродовж всього періоду будівництва до повного затухання деформаційних процесів. Досвід спостережень свідчить, що деформаційні процеси у конструкціях

будівель і споруд можуть виникати як від зовнішніх факторів, так і від змін властивостей матеріалів у часі.

У статі наведені результати багаторічного моніторингу чотирьох об'єктів у м. Києві:

- 1) будівля бізнес-центру «IQ Business Center» по вул. Болсуновська, 13-15;
- 2) будівля бізнес-центру «101 Tower» по вул. Гетьмана Павла Скоропадського, 57;
- 3) пам'ятки культурної спадщини Національного заповідника «Софія Київська», до якого входять Софійський собор, Андріївська та Кирилівська церкви;
- 4) комплекс споруд Будинку Уряду України по вул. Михайла Грушевського, 12/2.

Публікація містить матеріали за результатами:

- моніторингу горизонтальних переміщень огороження котловану;
- моніторингу осідань фундаментів будівель та



- споруд в зоні впливу;
- моніторингу осідань фундаментів будівлі, що зводиться;
- моніторингу планового положення каркасу будівлі, що зводиться;
- спостереження зміни ширини розкриття тріщин в конструкціях споруд історико-культурної спадщини;
- моніторингу просторового положення схилу.

Представлено графічні матеріали, на яких приведено результати моніторингу за вищепереліченими параметрами, та методика проведення робіт. Надано рекомендації по підборі приладдя та методів моніторингу для забезпечення необхідної точності і достовірності результатів спостереження на основі накопиченого досвіду.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Моніторинг деформацій, геодезичні спостереження, довготривалі спостереження, нівелір, тахеометр, «SDM 50/500», осідання, розкриття тріщин, крен.

LONG-TERM MONITORING OF DEFORMATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING GEODETIC METHODS

ABSTRACT

Monitoring deformations of buildings and structures is a complex process that takes much responsibility for performing geodetic observations over a certain period. The publication deals with objects under monitoring that have been subject to geodetic observations for more than 10 years, with observation of these objects carried out by the State Enterprise NIISK laboratory of instrumental and engineering-geodetic studies of deformations of buildings and structures.

The relevance of monitoring arises at different stages of the life cycle of buildings and structures. Historical and cultural heritage objects should be monitored for deformations as provided for in the operating regulations. Monitoring at the construction stage in conditions of dense urban development is mandatory throughout the entire construction period until the deformation processes attenuate completely. The experience of observations shows that deformation processes can occur in the structures of buildings and structures due to external factors and changes in the properties of materials over time.

The article presents the results of long-term monitoring of four objects in Kyiv, which are

- 1) the building of the "IQ Business Center" Business Centre at Bolsunovska Street, 13-15;
- 2) the building of the "101 Tower" Business Centre at Hetmana Pavla Skoropadskoho, 57;
- 3) monuments of the cultural heritage of the National Reserve "Sofia of Kyiv", which includes St. Sophia Cathedral, St. Andrew's Church and St. Cyril's Church;
- 4) a complex of structures of the Government House of Ukraine at Mykhaila Hrushevskoho

Street, 12/2.

The publication contains materials based on the results of:

- monitoring of horizontal movements of the pit fence;
- subsidence monitoring of foundations of buildings and structures in the affected area;
- subsidence monitoring of the foundations of the building under construction;
- monitoring of the planned position of the building frame under construction;
- observation of changes in the width of crack openings in structures of historical and cultural heritage objects;
- monitoring of the spatial position of the slope.

The article presents graphic materials showing the monitoring results for the above parameters and the work performance procedure. The article provides recommendations for selecting monitoring devices and methods to ensure that the observation results are accurate and reliable based on the experience gained.

KEYWORDS: monitoring deformations, geodetic observations, long-term observations, level (optical instrument), total station theodolite, «SDM 50/500», subsidence, crack openings, shift.

ВСТУП

Деформаційний процес конструкцій відбувається протягом усього життєвого циклу об'єкту. Переважно він має млявоплинний характер та незначну швидкість за умови, якщо поруч немає техногенних чинників, що можуть призвести до активізації деформаційних процесів. Найактивніша фаза деформування відбувається в період зведення будівлі (споруди), основною причиною її є стрімке навантаження фундаментів. У цей період відбувається активний розвиток деформацій.

Для цього періоду життєвого циклу будівлі (споруди), залежно від її конструктивних особливостей, встановлюються граничні значення величин деформацій [3]. Основними контрольними параметрами є: середні $S_{ave,u}$ або максимальні $S_{max,u}$ осідання, крен i_u та відносна різниця осідань $(S/L)_u$, де L – відстань між сусідніми марками.

Якщо будівля (споруда) потрапляє в зону впливу будівництва, то при розробці проекту виконується оцінка величин додаткових деформацій з врахуванням інженерно-геологічних умов ділянки та конструкції будівлі (споруди). Отримані величини порівнюються з допустимими, регламентованими будівельними нормами [3]. Граничні значення додаткових деформацій фундаментів залежать від конструктивної схеми і технічного стану будівлі (споруди), що встановлюється за результатами обстеження.

В зоні впливу будівництва на існуючу будівлю (споруду) контролюються два основні параметри: максимальні додаткові осідання $S_{max,u}$ та відносна



різниця осідань $(S/L)_u$.

Однією з найбільш поширених причин розвитку нерівномірних деформацій будівель (споруд) є їх розміщення на ділянках зі складними інженерно-геологічними умовами, наприклад, на ділянках, складених ґрунтами з особливими властивостями, на зсувонебезпечних схилах або у сейсмічній зоні, на територіях, що підроблюються гірничими виробками.

Для особливо відповідальних споруд (стратегічного призначення, гідротехнічних, мостових переходів, тунелів, телевізійних та веж зв'язку, димових труб тощо) та будівель і споруд, що відносяться до історико-культурної спадщини (собори, монастирі, стели, монументи, музеї, театри тощо), формується регламент експлуатації. Це документ, у якому передбачається ряд запобіжних заходів, які слід виконувати, щоб зберегти експлуатаційну придатність об'єкта. Одним з таких заходів є контроль технічного стану будівлі (споруди), а також навколишньої території (контроль зсувних процесів, коливання рівня ґрунтових вод, контроль просторового положення утримуючих споруд тощо).

В обох вищезгаданих випадках у якості контролю та фіксації деформаційних процесів використовується інструментальний геодезичний моніторинг, що дозволяє за допомогою періодичних спостережень виявляти різні аспекти деформаційних процесів.

Геодезичний моніторинг деформаційних процесів споруд на етапі будівництва можна розділити на два паралельні етапи: зовнішній моніторинг та внутрішній моніторинг.

До зовнішнього моніторингу відноситься моніторинг деформацій будівель, споруд, територій, що прилягають (оточують) будівельний майданчик та знаходяться в зоні впливу. До об'єктів такого моніторингу відносяться будівлі, транспортні споруди, споруди інженерних мереж, території та утримуючі споруди тощо. В залежності від типу очікуваних деформацій та особливості геологічних умов складається обсяг та параметри моніторингу деформаційних процесів.

До внутрішнього моніторингу відноситься моніторинг просторового положення огорожувальних конструкцій котловану та будівлі (споруди), що зводиться.

До параметрів зовнішнього і внутрішнього моніторингу під час будівництва відноситься:

- осідання фундаментів прилеглої забудови;
- крени (горизонтальні переміщення) прилеглої забудови;
- розкриття тріщин в конструкціях прилеглої забудови;
- зсувні процеси ґрунтових мас (притаманні ділянкам із складним рельєфом);
- горизонтальні переміщення огорожувальних конструкцій;

- осідання фундаментів новобудови;
- крени (горизонтальні переміщення) новобудови.

На етапі експлуатації актуальність моніторингу виникає через низку причин, зокрема, внаслідок зміни технічного стану, що супроводжується проявом деформаційних процесів через вік, історичну цінність та особливості експлуатації.

До моніторингу деформаційних процесів на етапі експлуатації входить ряд параметрів, основними з яких є осідання фундаментів, розвиток кренів та розкриття тріщин. У випадку із спорудами стратегічного призначення обсяги та параметри вказуються у регламенті експлуатації (переважно це моніторинг просторового положення споруд або окремих конструкцій).

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Моніторинг деформацій будівель і споруд інженерно-геодезичними методами та іншими інструментальними технологіями регламентується чинними нормативними документами [1-4]. Удосконалення та комбінування геодезичних методів моніторингу розглядалося у публікаціях [5-8].

Темі геодезичного моніторингу деформацій будівель і споруд приділили значну увагу вітчизняні вчені геодезисти та геотехніки, такі як: Баран П.І., Войтенко С.П., Шульц Р.В., Староверов В.С, Бойко І.П., Третяк К.Р. та інші.

Стаття ґрунтується на результатах багаторічного інструментального моніторингу деформаційних процесів низки споруд [9-13, 15-20].

ДП НДІБК активно бере участь у відновленні будівель та споруд, що постраждали від воєнної агресії РФ. Результати обстеження технічного стану пошкоджених будівель, інструментальних вимірювань, геодезичного моніторингу та реалізації технічних рішень представлено в публікаціях [21-26].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Головним завданням моніторингу деформацій будівель і споруд є забезпечення своєчасного, детального та достовірного інформування про розвиток небезпечних деформаційних процесів з метою вчасного їх усунення та забезпечення якісного та безпечного процесу будівництва і експлуатації. Моніторинг за технічним станом є дуже важливим, оскільки втрата експлуатаційної придатності будь-яких об'єктів є недопустимою та може призвести до катастрофічних наслідків. В першу чергу, такі явища можуть потягнути за собою втрату людських життів та завдати значних фінансових затрат на ліквідацію і відновлення. Неконтрольовані деформаційні процеси об'єктів історико-культурної спадщини можуть призвести до втрати історичної цінності та до фізичної втрати таких об'єктів.



Деформаційні процеси в конструкціях стратегічних об'єктів, що перевищують гранично допустиму величину, можуть призвести до катастрофічних наслідків для людей і призвести до значних економічних втрат та нанести шкоду довкіллю.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Моніторинг осідань фундаментів будівель і споруд виконується за допомогою різних методів та пристроїв. Досвід ДП НДІБК свідчить, що одним з найбільш зручних методів є геометричне нівелювання, що має такі переваги: висока точність, низька вартість, простота обробки вимірювання та простота аналізу результатів. За допомогою геометричного нівелювання можливо спостерігати вертикальні переміщення фундаментів, будівель та споруд, вертикальні переміщення утримуючих конструкцій та споруд (огородження котловану, підпірні стіни тощо).

Для виконання вимірювань осідань фундаментів будівель і споруд використовується точний нівелір SDL30 в комплекті з інварною рейкою BIS 20 з інтегрованим рівнем. Також важливим фактором є те, що для забезпечення мінімальної похибки визначення перевищень на станції застосовується важкий дерев'яний штатив з різьбовими закріплювачами висоти ніжок.

Моніторинг вертикальних переміщень будівель (споруд) передбачає встановлення спостережної станції, яка є мережею осадових марок та вихідних реперів. Марки служать постійними знаками для установки на них рейки під час нівелювання. При цьому будь-яка конструкція марки повинна:

- забезпечувати можливість установки рейки при повторному нівелюванні чітко на одну й ту ж фіксовану точку;
- надавати можливість безперешкодного підходу до марки протягом всього періоду спостережень;
- мати такий виліт з площини стіни, який би забезпечував встановлення рейки у прямовисному положенні;
- мати визначену жорсткість (тобто не допускається її прогин під вагою рейки).

Вихідними даними при розташуванні осадових марок є тип конструкції та розміри будівлі (споруди) в плані. Осадкові марки розташовуються рівномірно по всій площі фундаментів таким чином, щоб можна було зручно провести лінії рівномірних осідань. Середня відстань між марками 6–8 м.

Для забезпечення висотної основи закладаються мінімум 3–4 опорні реperi, розташовані у місцях, що не потрапляють в зону впливу та де можливий на весь період спостережень безперешкодний підхід до репера з рейкою. Це створює надійну основу для нівелірних ходів, що прокладені по марках спостережень. Наявність декількох реперів

дає можливість по спостереженнях за їх взаємним висотним положенням оцінювати ступінь стійкості кожного з реперів і найбільш стійкий вибрати в якості вихідного. Основними вимогами, висунутими до знаків планово-висотної опорної мережі, є їхня схоронність і непорушність положення протягом усього часу спостережень.

Перед виконанням кожного чергового циклу спостережень осідань будівель (споруд) проводяться контрольні виміри з визначення стійкості знаків опорної висотної мережі. Для кожного репера обчислюється середнє значення S_{ave} його осідань S , отриманих при послідовному виборі за вихідний інших реперів, за формулою:

$$S_{ave} = \frac{[S]}{n-1}, \quad (1)$$

де $[S]$ – сума змін усіх перевищень між реперами в i -тому циклі вимірювань відносно нульового.

Судження про стабільність висотного положення реперів дається на основі аналізу величини S_{ave} . Значимість середніх зсувів S_{ave} , що обчислюються для різних реперів, оцінюється за допомогою нерівності:

$$|S_{ave}| > t\mu\sqrt{R \cdot S_{ave}}, \quad (2)$$

де

t – критерій граничних помилок перевищень на одній станції;

μ – середня квадратична помилка одиниці ваги;

$R \cdot S_{ave}$ – зворотна вага величини $|S_{ave}|$.

Незмінним своє положення по висоті зберігають ті реperi, для яких величина S_{ave} менша чи дорівнює рівності (2).

За результатами спостережень використовуються усі знаки опорної вихідної мережі, котрі свого положення не змінили. Нестабільні реperi до уваги не приймаються і в зрівнюванні нівелірних мереж участі не беруть.

По закінченню польових робіт з вимірів осідань і деформацій основ фундаментів будівель (споруд) і перевірки журналів виконується камеральне оброблення отриманих результатів та їх оцінка.

Середня квадратична похибка осідання m_s із двох циклів визначається за формулою:

$$m_s = \pm\sqrt{m_1^2 + m_2^2}, \quad (3)$$

де m_1 і m_2 – середні квадратичні похибки відмітки марки ходу найбільш віддаленої від репера в першому і другому циклах спостережень.

У випадку простих одиночних ходів середня квадратична похибка відмітки в кожному циклі визначається за формулою:

$$m = \pm m_c \sqrt{n}, \quad (4)$$

де

m_c – середня квадратична похибка однієї станції для даного класу;

n – кількість станцій до найбільш віддаленої



марки ходу.

При обчисленні перевищення між марками і реперами складається схема нівелірних ходів та оцінка точності виконаних циклів спостережень.

Виконується точне вирівнювання нівелірної мережі параметричним методом. Вирівнювання виконується в два етапи.

На першому етапі проводиться вирівнювання вузлових точок за методом професора Попова [27]. Ваги ходів вираховуються по кількості штативів в ході.

На другому етапі проводиться вирівнювання окремих точок існуючих ходів.

Після обчислення поправок в перевищення виконується оцінка точності нівелювання, тобто обчислюється середня квадратична помилка одиниці ваги μ і середня квадратична помилка нівелювання на 1 км ходу m_{km} :

$$\mu = \sqrt{\frac{\rho V_0^2}{r}}, \quad (5)$$

де

V_0 – поправка в суму перевищень загального ходу;
 $\rho = n^{-1}$ – число, обернене кількості штативів на 1 км ходу;

r – кількість полігонів в циклі.

$$m_{km} = \mu \sqrt{\frac{n}{L}}, \quad (6)$$

де n/L – середнє число штативів на 1 км ходу.

Найважливішими вихідними параметрами для обчислення деформацій є швидкість та прискорення рухів вихідних геодезичних знаків, на основі яких оцінюють стійкість інженерних споруд.

Швидкість V та прискорення W визначаються за формулами:

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad (7)$$

$$W = \frac{\Delta s}{\Delta t^2}, \quad (8)$$

де

Δs – горизонтальні або вертикальні переміщення;
 Δt – відрізок часу між суміжними повторними вимірами.

Знаючи помилки $m_{\Delta s}$ і $m_{\Delta t}$, можна вирахувати точність визначення V та W , тобто m_{2m_v} та m_{2m_w} .

Точність визначення швидкостей V та прискорення W вертикальних рухів залежить не лише від точності геодезичних вимірів, але й від неодновременності вимірів, тобто від тривалості циклів.

При відомих V та W можна розрахувати доцільну періодичність проведення вимірів.

Ці частоти циклів також залежать від відстані L_j між нерухомими та мобільними точками, що досліджуються.

При V , більшому ніж 0.5 мм/рік (один цикл в рік), наприклад, при $V = 1$ мм/рік або $V = 2$ мм/рік, частоти циклів потрібно збільшувати, відповідно, в два та чотири рази.

Величина осідання фундаменту будівлі (споруди)

під кожною деформаційною маркою обчислюється як різниця між відмітками цієї марки, отриманої в останньому циклі вимірів, і відміткою, отриманою в першому циклі вимірів.

За одержаними результатами спостережень складаються зведені відомості абсолютних позначок і величин вертикальних переміщень деформаційних марок.

Спостереження за горизонтальними переміщеннями будівель і споруд виконується шляхом періодичного визначення прямокутних координат (x, y) деформаційних марок, що встановлені на конструкціях. Спостережна станція є мережею спостережних марок, встановлених по всьому периметру або по всій довжині споруди підпірної стіни чи огороження котловану. Спостережні марки встановлюються на конструкції споруди з кроком 6–8 м. Метод закріплення спостережних марок підбирається індивідуально, в залежності від умов спостереження (матеріалу конструкцій, доступу до неї тощо).

Доцільно встановлювати марки за допомогою анкерів або використовувати плівкові відбивачі. Кожна марка повинна мати постійний центр, що виконується у вигляді конічного заглиблення. Така конструкція зручна для встановлення наконечника віхи в одне й теж місце анкерних марок з вільним доступом до них. У разі встановлення відбивачів слід зосередитися на їх розмірі та якості нанесення навісної шкали, щоб забезпечити якість польових вимірювань при наведенні. Марки встановлюються таким чином, щоб їх було легко віднайти на місцевості, та, водночас, щоб ускладнити випадкове їх пошкодження і не порушити їх положення.

Кількість станцій встановлення тахеометра підбирається таким чином, щоб забезпечити трикратне візування деформаційних марок з різних станцій. Станції встановлення приладів повинні утворювати мережу трикутників або замкнутий полігон, що дозволить проводити поетапне зрівнювання та можливість відкидати випадкові похибки в процесі обробки.

Вихідна мережа повинна включати в себе віддалені орієнтири та надійно закріплені пункти поза зоною очікуваного впливу, що дає змогу контролювати стійкість спостережних пунктів за допомогою зворотної лінійно-кутової засічки.

Для вимірювань горизонтальних деформацій підібрано наступний перелік приладів: тахеометр NTS962R, що має кутову точність 2'' та лінійну 2 мм, світловідбивальні призми на трегері з оптичним центром та призма з віхою. Призма з віхою під час вимірювань встановлюється чітко у вертикальне положення за показниками інтегрованого рівня. Будова віхи з призмою дає змогу орієнтувати її на спостерігача з будь-якої спостережної марки. Прокладання полігонометричного ходу виконується лише за допомогою триштативного методу. У якості відбивача на задню та передню



станцію слід використовувати призму на трегері з центриром, що дає змогу змінювати станції тахеометру, не знімаючи трегер. Такий підхід усуває похибку на центрування та заощаджує час на польові роботи.

Для вимірювання величин горизонтальних переміщень використовується метод прямої багаторазової лінійно-кутової засічки. Цей метод забезпечує отримання величин горизонтальних переміщень з похибкою, що не перевищує ± 2 мм.

При середній квадратичній похибці виміру кутів напрямків, рівних $m_\alpha = \pm 2''$, і відстані до контрольних марок близько 50–80 м, очікувана середня квадратична похибка поперечного лінійного переміщення буде дорівнювати:

$$m_\Delta = m_\alpha'' \cdot L / \rho'' \pm 2 \times 80000 / 206265 = \pm 0.8 \text{ мм}.$$

Розрахункова середня похибка поздовжнього лінійного переміщення (за рахунок похибки вимірювань довжин ліній) m_L складатиме ± 2 мм.

Помилка за центрування приладу m_z приймається ± 0.5 мм.

Помилка за наведення на ціль m_v приймається рівною 1 мм.

Тож, за умови рівного впливу, середньоквадратична похибка визначення координат контрольної марки складатиме:

$$m_1 = \sqrt{(m_L^2 + m_\Delta^2 + m_z^2 + m_v^2)} = \sqrt{(2 + 0.8 + 0.05 + 1)} = 2 \text{ мм}.$$

Зрівнювання мереж геодезичних вимірювань виконується в програмному середовищі RGS, яке дає змогу в ручному режимі керувати процесом зрівнювання планових мереж. Зокрема, процес урівнювання можливо виконати з урахуванням виміряних кутів та ліній, а також окремо кутів і окремо ліній, що дає змогу відстежувати та виключати грубі помилки, що виникали в процесі вимірювання.

На етапі камеральної обробки програмне середовище RGS здійснює зрівнювання мереж геодезичних вимірювань параметричним способом за методом найменших квадратів з урахуванням усіх заданих вимірювань і виводить результати зрівнювання в такі відомості:

- відомість зрівняних координат (містить зрівняні значення координат пунктів та значення дирекційних кутів та відстаней по всіх існуючих зв'язках для кожного пункту). Перевагою цього комплексу є те, що він вирізняє всі повторні вимірювання та урівнює і представляє середні значення координат.
- відомість оцінки точності (містить середньоквадратичні помилки зрівняних координат, середньоквадратичні помилки лінійних та кутів значень зв'язків).
- відомість зрівняних вимірів (містить виміряні значення, поправки до них та зрівняні зна-

чення).

Наступним етапом камерального опрацювання є порівняння координат поточного циклу з попереднім та початковим. Таким чином, різниця між координатами є величиною горизонтальних переміщень. Далі, маючи величини горизонтальних переміщень, обчислюється напрямок вектору переміщень. Фінальним камеральним опрацюванням є визначення напрямку та величини горизонтальних переміщень конструкцій огороження котловану відносно початкового положення станом на перший цикл.

Моніторинг змін ширини розкриття тріщин застосовується, в переважній більшості, на будівлях (спорудах) прилеглої забудови навколо будівництва або на об'єктах історико-культурної спадщини. Тріщиноутворення – це один з ключових параметрів, що характеризує нерівномірність осідань фундаментів будівель (споруд). Період часу, упродовж якого з'являються нові тріщини або збільшується розкриття існуючих, залежить від виду, параметрів і стану конструкцій та швидкості розвитку осідань фундаментів.

Спостережна станція для вимірювання змін ширини розкриття тріщин є системою, що містить визначену кількість спостережних пар марок із кольорового металу, установлених на конструкціях будівель і споруд (кожна з пари марок по обидва боки тріщин), а також переносного приладу «SDM 50/500» з компаратором для зняття показань величин деформацій [6, 7]. В головці кожної пари марок 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, завдяки чому досягається зняття показань приладу фактично без помилок.

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

Для зняття відліків використовується 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.

При знятті відліків по індикатору необхідно слідкувати за тим, щоб конічні 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 вставляється в ліву від тріщини марку, другий раз – в праву. Виконання замірів двома півприйомами дає змогу значною мірою виключити випадкову та систематичну помилки.

Величина зміни ширини тріщини визначається 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.

Результати спостережень заносяться в спеціальний журнал для більш повного уявлення про характер розвитку змін ширини розкриття тріщин в часі, приводяться величини змін ширини розкриття тріщин по відношенню до першого циклу вимірів. Знак «+» означає, що тріщина розкривається, знак «-», що закривається.

За отриманими результатами будуються графіки та лінії апроксимації. На графіках чітко видно, що ширина тріщин, розташованих на зовнішніх конструкціях, коливається залежно від температури довкілля (за рахунок температурних деформацій матеріалу конструкцій тріщини зимою звужуються, а літом – розширюються). Графік зміни ширини тріщин таких конструкцій подібний до синусоїди. Аналіз вимірювань свідчить, що ширина коливань може складати від ± 0.5 мм до 1 мм по абсолютній величині.

При аналізі деформацій необхідно пам'ятати про це, щоб не трактувати хибно ширину збільшення ширини тріщин в осінньо-зимовий період, оскільки відбуваються зміни кліматичних умов. Особливо це актуально для будівель (споруд) на здимальних ґрунтах, яким властиві явища усадки – набрякання.

ДОСВІД ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Досвід геодезичного моніторингу Лабораторії інструментальних та інженерно-геодезичних досліджень деформацій будівель і споруд ДП НДІБК (раніше – Групи інструментальних спостережень за деформаціями будівель) розпочинається з 90-х років минулого століття. Протягом 30 років лабораторією було виконано геодезичних робіт у складі обстеження та геодезичний моніторинг на близько п'яти сотнях об'єктів по всій території України. До них відносяться: будівництво в умовах щільної забудови (міста Київ, Одеса, Львів, Вінниця, Житомир), торговельні центри (міста Київ, Одеса, Запоріжжя, Дніпро, Львів), будівлі та споруди культурної спадщини (міста Київ, Львів, Чернігів, Одеса та АР Крим), агропромислові об'єкти – зернохословища, елеватори (міста Одеса, Козятин, Кролевець, Миронівка, Черкаси), енергетичні об'єкти (міста Київ, Запоріжжя), об'єкти транспортного сполучення

(місто Київ та Київська обл.).

З початком повномасштабного вторгнення РФ, лабораторією виконується низка робіт з геодезичного інструментального обстеження технічного стану та моніторингу деформаційних процесів об'єктів, що постраждали від обстрілів (міста Київ, Буча, Ірпінь, Лютий, Чернігів).

Лабораторією виконується багаторічний (понад 10 років) моніторинг деформацій близько 10 об'єктів. У статі наведені результати багаторічного моніторингу чотирьох об'єктів у м. Києві [9-13, 15-20].

1. Будівля бізнес-центру «IQ Business Center» по вул. Болсуновській, 13–15. Будівництво розпочато в 2010 році, введено в експлуатацію – в 2013 році (рис. 1). На об'єкті моніторинг виконувався у два етапи – на стадії будівництва та на стадії експлуатації.

На стадії будівництва моніторинг включав в себе спостереження за горизонтальними переміщеннями огороження котловану та спостереження за вертикальними переміщеннями фундаментів будівлі, що зводиться [10, 11].

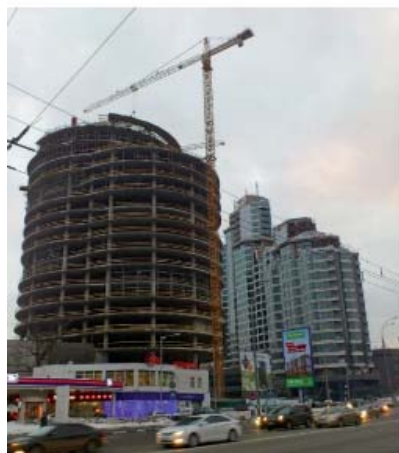
Необхідність моніторингу огороження котловану обумовлена складними інженерно-геологічними умовами та значною підрізкою схилу [9]. Для запобігання зсувів ґрунту в котлован та захисту прилеглої забудови по периметру котлова-



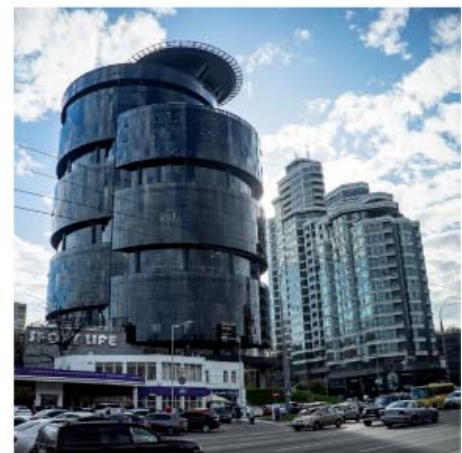
Березень 2012 р.



Червень 2012 р.



Березень 2013 р.



Жовтень 2014 р.

Рисунок 1 – Хід робіт будівництва будівлі бізнес-центру «IQ Business Center»



ну виконана підпірна стіна з буросічних паль, з'єднаних ростверком (обв'язочною балкою). Екскавація ґрунту в котловані виконувалась окремими захватками, пошарово, з поярусним улаштуванням ґрунтових анкерів. Моніторинг виконувався від влаштування обв'язувальної балки до зведення перекриття «нульової» позначки (з 21 грудня 2010 року по 28 травня 2012 року (524 дні)); всього виконано 48 циклів вимірів [10].

Результати геодезичного моніторингу планового положення конструкцій огороження котловану дали змогу контролювати та вчасно реагувати на деформаційні процеси, що виникали під час розробки котловану. Результати моніторингу представлені на рис. 2 та 3.

Актуальність моніторингу вертикальних переміщень фундаментів під час будівництва будівлі виникла за результатами оцінки деформацій фундаментів при зведенні будівлі. Ця величина оцінювалася в 34 мм [9]. Нерівномірність розрахункових осідань може викликати появу тріщин в конструкціях каркасу. Тож, моніторинг осідань фундаментів виконувався з моменту влаштування колон –3 поверху (травень 2012 року) до введення будівлі в експлуатацію, і продовжується донині [10]. Схема геометричного нівелювання представлена на рис. 4.

Загальний період моніторингу осідань фундаментів будівлі становить понад одинадцять років (з 28 травня 2012 р. по 12 липня 2023 р.). За вказаний проміжок часу проведено 81 цикл вимірювань осідань будівлі [11], результати яких наведені на рис 5.

Отримані в ході спостережень дані дають змогу зробити наступні висновки:

- за весь час спостережень вертикальні переміщення осадкових марок, встановлених на несучих конструкціях в підвальній частині будівлі, становлять від 20 до 37 мм;
- швидкість вертикальних переміщень протягом року коливається в межах 0.1–1.1 мм/місяць;
- максимальна нерівномірність осідань складає 0,0008, при гранично допустимій величині для даного типу будівлі 0,002;
- отримані результати вимірювань дають змогу стверджувати, що станом на липень 2023 року не зафіксовано деформацій, які б могли призвести до зниження експлуатаційних якостей будівлі. Спостерігається млявоплинний розвиток висотного положення будівлі. Найвні незначні прирости вертикальних переміщень, імовірно, є наслідком природнього процесу стабілізації основи будівлі.

2. Будівля бізнес-центру «101 Tower» по вул. Гетьмана Павла Скоропадського, 57 (рис. 6). Будівництво розпочато в 2008 році, введено в експлуатацію – у 2012 році. Інженерно-геодезичний моніторинг виконувався в два етапи: на стадії будівництва та в процесі експлуатації. Моніторинг

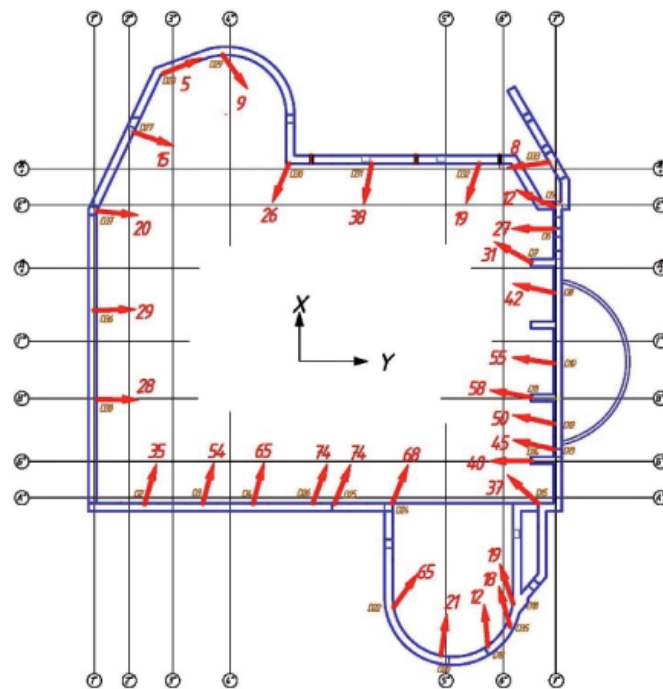


Рисунок 2 – Сумарні горизонтальні переміщення за результатами моніторингу деформаційних марок, встановлених на обв'язувальній балці огороження котловану

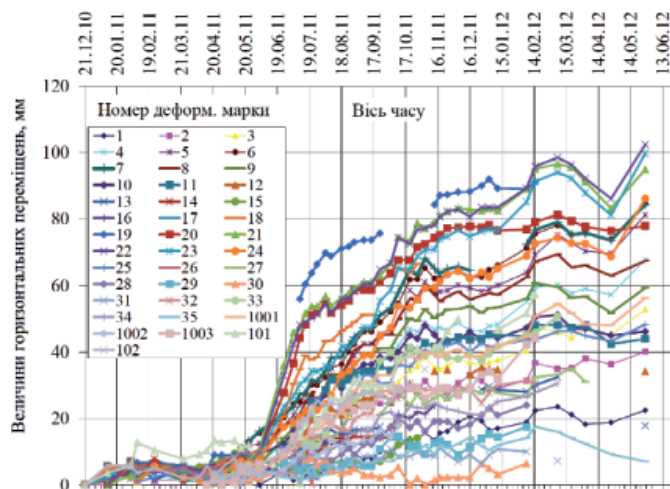


Рисунок 3 – Графік розвитку в часі горизонтальних переміщень деформаційних марок, встановлених на обв'язувальній балці огороження котловану

на стадії будівництва включав в себе роботи по моніторингу деформацій прилеглої забудови та, власне, деформацій фундаментів новобудови [12].

На етапі експлуатації моніторинг виконувався за плановим положенням каркасу будівлі (моніторинг крену) та моніторинг осідання фундаментів [13].

Необхідність робіт з геодезичного моніторингу обумовлена вимогами нормативних документів, що регламентують моніторинг технічного стану

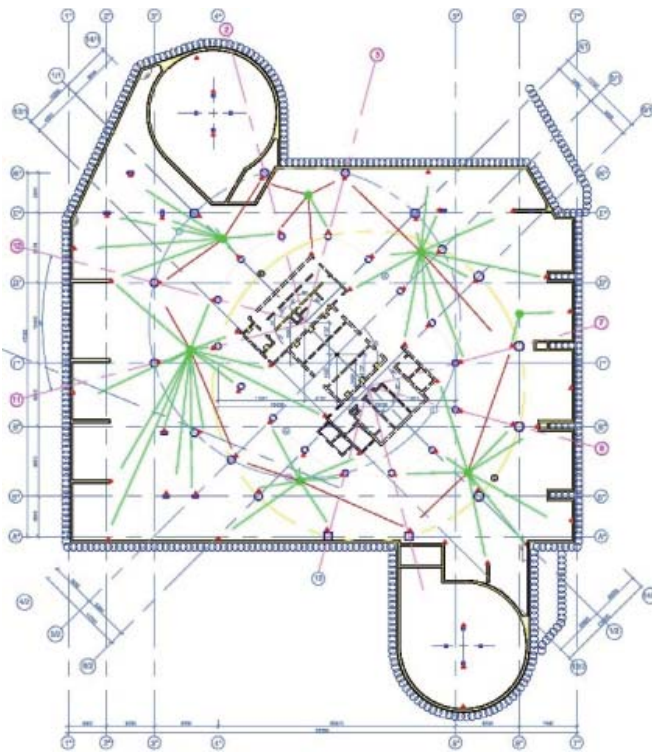


Рисунок 4 – Схема розташування осадкових марок та схема нівелірного ходу на –3 поверсі

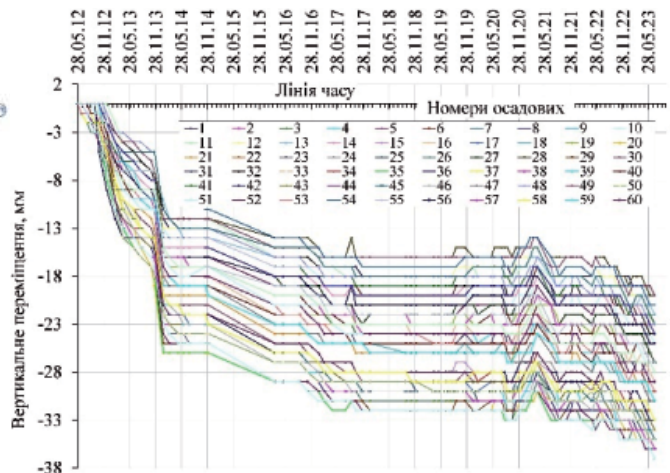


Рисунок 5 – Графік розвитку в часі вертикальних переміщень осадкових марок, встановлених у підвальній частині будівлі

існуючих будівель щільної міської забудови в зоні впливу нового будівництва та з метою попередження неприпустимих деформацій і забезпечення нормальних експлуатаційних якостей прилеглої забудови.

Об'єктами моніторингу існуючої забудови було 5 будівель (№№ 55 та 55А по вул. Гетьмана Павла Скоропадського, №№ 3 і 6 по вул. Гайдара та № 83/53 по вул. Жиланській) та проїжджа частина вулиці здовж вул. Гетьмана Павла Скоропадського. Ситуаційна схема представлена на рис. 7.

До складу робіт входив моніторинг осідань фундаментів будівель та просідання покриття вулиці, спостереження змін ширини розкриття тріщин та визначення кренів будівель. Вимірювання проводилися з 09 серпня 2008 року по 19 березня 2012 року (1318 днів). Виконано 66 циклів комплексного спостереження.



Рисунок 6 – Загальний вигляд будівлі бізнес-центру «101 Tower»

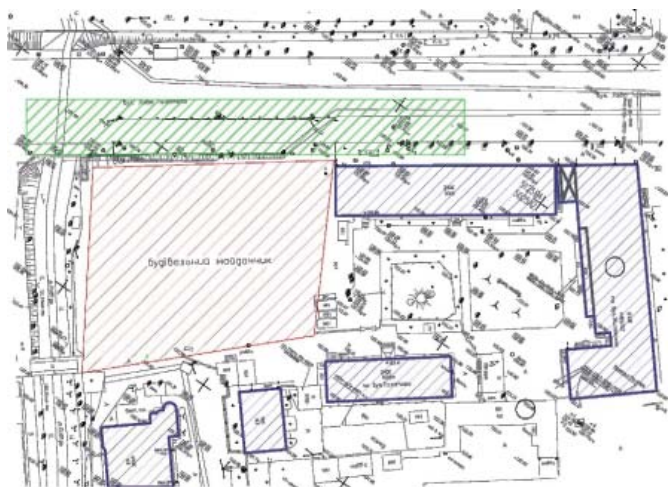


Рисунок 7 – Ситуаційна схема взаємного розташування будівель оточуючої забудови



Спостереження за осіданнями фундаментів будівлі розпочалося одразу після влаштування колон другого поверху (з 04 червня 2010 року) і триває досі. Періодичність вимірювання в процесі зведення – щомісячна, після введення в експлуатацію – щоквартальна. Загалом, станом на 2023 рік, виконано 76 циклів вимірювань осідань фундаментів. Термін моніторингу становить 4535 дні (12,4 роки). За результатами моніторингу побудовано ортогональну модель вертикальних переміщень ядра жорсткості (рис. 8) та графік швидкостей вертикальних переміщень осадкових марок, встановлених на ядрі жорсткості (рис. 9).

Для моніторингу планового положення каркасу будівлі геодезичними методами використано штатні призмкові відбивачі у якості спостережних марок (рис. 10), які вмонтовані в жорстку конструкцію каркасу на фасадних системах.

Світловідбивачі закріплені на двох взаємно перпендикулярних площинах – на південно-західному та південно-східному фасадах, на відносних відмітках +20.000, +58.000 та + 94.000 (рис. 11 і 12).

Моніторинг планового положення каркасу будівлі розпочато після зведення фасадних систем (з 27 липня 2012 року) і триває досі.

Внаслідок масового ракетного удару 10 жовтня 2022 року будівля бізнес-центру була пошкоджена (рис. 13). Наразі експлуатацію будівлі призупинено. Відновлення поки що не проводиться.

3. Пам'ятки культурної спадщини Національного заповідника «Софія Київська». Об'єктами моніторингу, що здійснює ДП НДІБК, є Софійський собор, Андріївська та Кирилівська церкви в місті Києві (рис. 14).

Собор святої Софії – Премудрості Божої, Софія Київська або Софійський собор – християнський собор в центрі Києва, пам'ятка української архітектури та монументального живопису другого десятиріччя XI ст. (1011–1018 р.р.). Одна з небагатьох уцілілих споруд часів Київської Русі. Найкращим підтвердженням своєї високої історичної й духовної місії є сам Софійський собор, що зберігає чудову давню архітектуру і найповнішу у світі галерею оригінальних мозаїк і фресок XI ст. – 260 кв. м мозаїк і 3000 кв. м фресок, які є справжніми шедеврами світового мистецтва.

Андріївська церква збудована у 1747–1762 роках у стилі «бароко» за проектом видатного архітектора Ф.-Б. Растреллі. Андріївська церква є однією з чотирьох пам'яток України, що увійшли до каталогу «100 чудес світу», виданого в Німеччині у 2002 році. Вона давно вже стала візитною карткою міста та зразком для наслідування у будівництві культових споруд.

Унікальність Кирилівської церкви, перш за все, полягає в її достеменності – це другий храм у Києві (після Софії Київської), що зберігся до наших днів з далеких часів Київської Русі. Пам'ятка була засно-

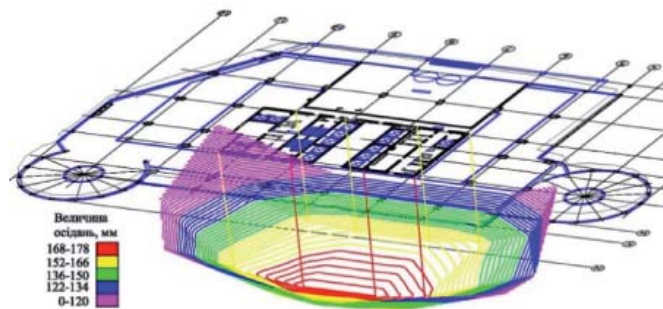


Рисунок 8 – Графік швидкостей вертикальних переміщень осадкових марок, встановлених на ядрі жорсткості будівлі

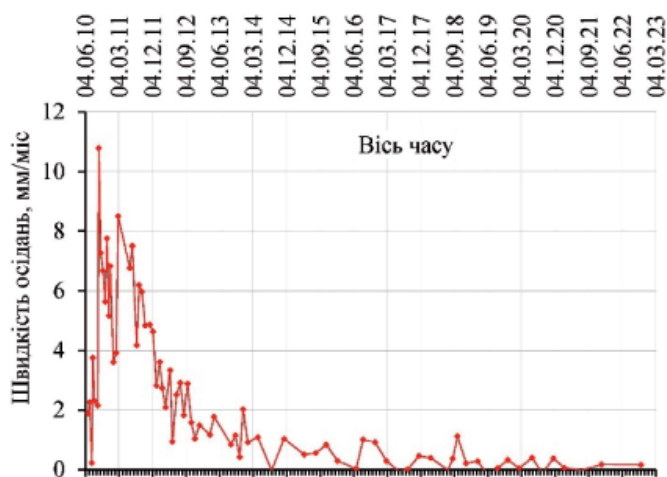


Рисунок 9 – Ортогональна модель вертикальних переміщень фундаментів висотної будівлі за 12 років моніторингу



Рисунок 10 – Призмкові відбивачі



Рисунок 11 – Відбивачі на південно-західному фасаді будівлі



Рисунок 12 – Відбивачі на південно-східному фасаді будівлі



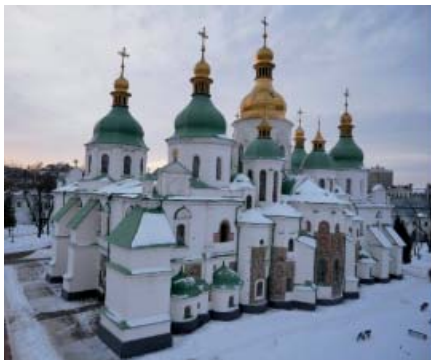
Рисунок 13 – Стан будівлі бізнес-центру «101 Tower» на осінь 2023 р.

вана у XII ст. і збереглася до наших днів у майже первісному вигляді. Храм зберіг свою архітектуру та живопис, серед якого – 800 кв. м фресок XII ст. з унікальними сюжетами, твори видатного художника Михайла Олександровича Врубеля, роботи відомих та невідомих українських художників XIX ст.

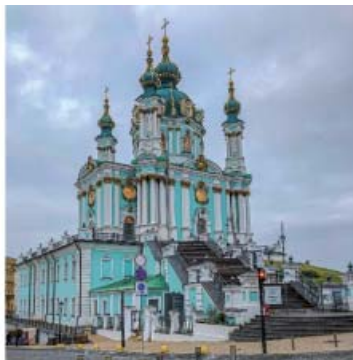
Дія техногенного середовища, що створювалося протягом тисячі років існування Храмів, відобразилася на технічному стані споруд заповідника. Внаслідок нерівномірних деформацій з'явилися тріщини, точний період появи яких не встановлено.

Моніторинг тріщин будівель – пам'яток культурної спадщини, які входять до складу Національного заповідника «Софія Київська», проводиться за регламентом експлуатації, розробленим для збереження історико-культурного надбання України.

Для виконання моніторингу 15 листопада 2002 року на спорудах Храмів (Софійський собор і Дзвіниця, Андріївська та Кирилівська церкви) були встановлені спостережні станції (рис. 15 і 16), взятий нульовий відлік та розпочатий моніторинг



Софійський собор



Андріївська церква



Кирилівська церква

Рисунок 14 – Пам'ятки культурної спадщини Національного заповідника «Софія Київська», за якими виконується інструментальний моніторинг



змін ширини розкриття тріщин в конструкціях будівель.

Метою моніторингу є:

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

Спостереження за розкриттям тріщин виконувалися з 2002 по 2006 роки [16], пізніше, в 2014 році, вимірювання відновлено і тривали до 2021 року [17, 18]. Загальний термін моніторингу в часі становить 19 років.

За весь період інструментальних спостережень виконано 24 цикли визначення змін ширини розкриття тріщин в конструкціях будівель заповідника «Софія Київська», 27 циклів визначення змін ширини розкриття тріщин в конструкціях Андріївської церкви, 26 циклів визначення

змін ширини розкриття тріщин в конструкціях Кирилівської церкви.

По Софійському Собору та Дзвіниці зміни ширини розкриття тріщин циклічні, в залежності від пори року. Чіткої тенденції до стабільного збільшення розкриття тріщин не спостерігається (рис. 17). Аналіз розташування тріщин, по яким зафіксовано найбільшу ширину розкриття та найбільші їх прирости, не виявляє ділянок стійкого деформування у плані будівлі. Основний фактор коливання ширини розкриття тріщин пов'язаний з коливаннями температурно-вологісного режиму. Графік залежності представлено на рис. 18.



Рисунок 15 – Спостережна станція для замірів ширини розкриття тріщин на конструкціях Софійського собору (східний фасад)



Рисунок 16 – Спостережна станція для замірів ширини розкриття тріщин на конструкціях Кирилівської церкви (північний фасад)

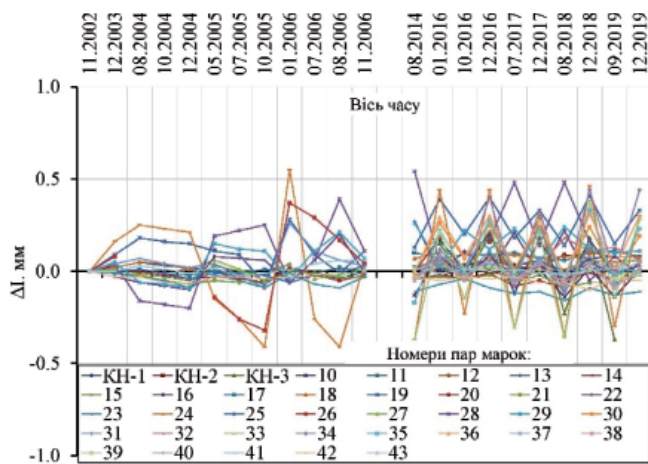


Рисунок 17 – Графік змін в часі ширини розкриття тріщин в конструкціях будівель Софійського собору

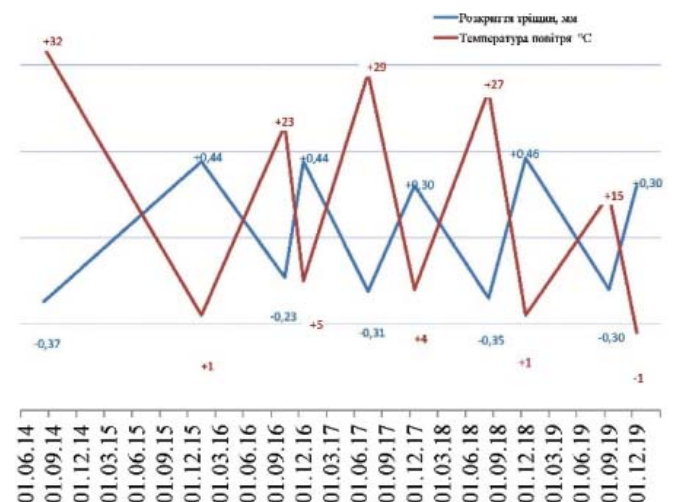


Рисунок 18 – Графік залежності розкриття тріщин від температури повітря



По Кирилівській церкві зміни ширини розкриття тріщин незначні за величиною, циклічні в залежності від пори року. По деяким тріщинам простежується незначне по величині, але стабільне збільшення ширини розкриття. Імовірною причиною розвитку зазначених деформацій є млявоплинне осідання північно-східного кута церкви.

По Андріївській церкві зміни ширини розкриття тріщин незначні за величиною, циклічні, залежні від пори року (температурно-вологісного режиму).

Тож, здебільшого, коливання розкриття-закриття тріщин пам'яток історико-культурної спадщини викликані зміною температурно-вологісного режиму, що є нормою для вікових тріщин.

4. Комплекс споруд Будинку Уряду України по вул. Михайла Грушевського, 12/2. Об'єкт інструментальних досліджень – комплекс споруд Будинку Уряду України (рис. 19), прилегла з північно-західного боку територія та будівля флігеля. Основна споруда – це Головний корпус Будинку Уряду, зведений в 1936–1938 р.р. у стилі «сталінський ампір» (монументалізм), що своїм напівкруглим фасадом розгорнутий в бік вул. Михайла Грушевського. Головний фасад будівлі рівномірно розчленований високими колонами коринфського ордера, з капітелями (висотою 2.5 м), бази яких відлиті з чавуну. Нижні поверхи будівлі облицьовані великорозмірними блоками тульчинського лабрадориту, а цоколі, пояски та портали – полірованим гранітом (рис. 20).

В процесі експлуатації комплексу споруд Будинку Уряду України в несучих конструкціях будівель почали з'являтися тріщини.

Задачами досліджень є проведення інструментальних спостережень за:

- осіданням фундаментів будівель комплексу споруд Будинку Уряду України;
- станом тріщин (зміни ширини розкриття) в

- конструкціях комплексу споруд;
- просторовим положенням поверхневих марок, розміщених на брівці Прем'єрського саду;
- прогинами стелі у Великій залі засідань Уряду України;
- прогинами ферм покриття над Великою залою засідань Уряду України;
- горизонтальними переміщеннями підпірної стінки вздовж нижньої частини схилу внутрішнього саду; вздовж паркувальної ділянки;
- горизонтальними переміщеннями флагштоків та вертикальними переміщеннями ганку (1–3 під'їздів) Будинку Уряду України вздовж вул. Михайла Грушевського, 12/2.

Аналіз матеріалів інструментальних інженерно-геодезичних спостережень за деформаціями несучих конструкцій комплексу споруд Будинку Уряду України та прилеглої території за весь період спостережень з 2003 по 2023 роки (загалом, виконано 146 циклів інструментальних спостережень [19, 20]) дає змогу зробити такі висновки:

- триває млявоплинний процес нерівномірного осідання Головного корпусу, лівого та правого крил Будинку Уряду України з незначними стабілізаційними періодами (рис. 21). Можливою причиною розвитку осідань є сезонне або техногенне коливання рівня ґрунтових вод, що спричиняє замочування лесових ґрунтів основи фундаментів. Непрямим підтвердженням цього є постійне розтріскування та просідання асфальтового покриття внутрішнього двору. Характер розкриття тріщин складний, що свідчить про виникнення в несучих та огорожуючих конструкціях будівель додаткових напружень.
- величини та характер розвитку переміщень



Рисунок 19 – Ситуаційна схема взаємного розташування комплексу споруд Будинку Уряду України



Рисунок 20 – Загальний вид Головного корпусу Будинку Уряду України з перехрестя вулиць Михайла Грушевського та Садової

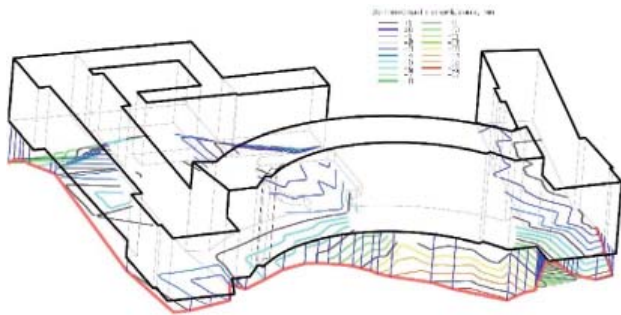


Рисунок 21 – Результати вертикальних переміщень фундаментів комплексу споруд Будинку Уряду України

брівки схилу по Музейному провулку свідчать про продовження зсувних процесів (рис. 22). Найвні незначні горизонтальні переміщення підпірної стіни, що розташована вздовж нижньої частини схилу Прем'єрського саду, свідчать про млявоплинний розвиток зсувних процесів.

ВИСНОВКИ

У статті описано методичний підхід до інструментального геодезичного моніторингу деформаційних процесів будівель і споруд, що будуються, знаходяться в зоні впливу нового будівництва, а також пам'яток історико-культурної спадщини і архітектури. Геодезичний моніторинг під час проведення будівельних робіт регламентується діючими нормативними документами та дає змогу відстежувати деформаційні процеси, що можуть призвести до аварійних ситуацій, та попереджати їх виникнення. Геодезичний моніторинг на об'єктах-пам'ятках історико-культурної спадщини та архітектури дає змогу вчасно виявити розвиток деформаційних процесів, дослідити причини їх появи та розробити заходи щодо їх усунення з метою збереження таких об'єктів. Отримані результати геодезичного моніторингу вікових об'єктів дають дані для виявлення причин млявоплинних деформацій на унікальних об'єктах.

У статті наведено результати багаторічного геодезичного моніторингу будівель і споруд різних конструктивних схем і віку та описано методи спостережень за деформаційними процесами.

Досвід лабораторії інструментальних та інженерно-геодезичних досліджень деформацій будівель і споруд ДП НДІБК дає підстави зробити такі висновки:

- для моніторингу деформаційних процесів найкраще підходять геодезичні методи;
- моніторинг осідань будівель і споруд рекомендується здійснювати шляхом геометричного нівелювання короткими променями;
- спостереження за плановим положенням будівель і споруд слід виконувати за допомогою тахеометрії, для підвищення точності

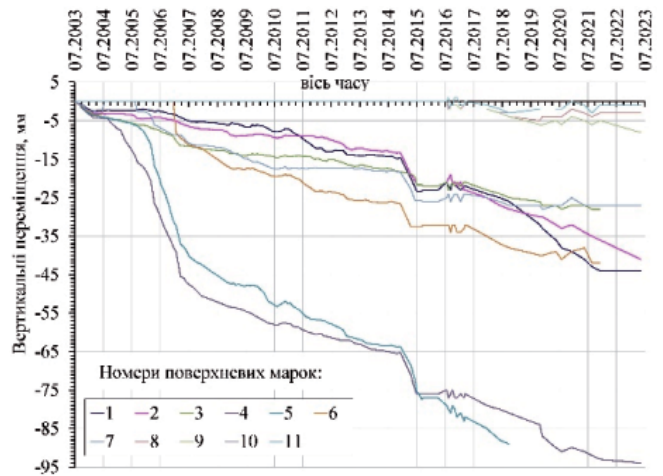


Рисунок 22 – Графік вертикальних переміщень поверхневих пунктів, розміщених на брівці схилу по Музейному провулку, в часі

рекомендується використовувати триштативну систему прокладання ходів;

- найбільш точні і достовірні результати моніторингу ширини розкриття тріщин отримуються за допомогою переносного приладу «SDM 50/500» з компаратором;
- геодезичні спостереження існуючої забудови в зоні впливу будівництва слід розпочинати до його початку, що дає можливість зафіксувати початкове положення конструкцій;
- моніторинг деформацій будівель і споруд прилеглої забудови слід проводити до завершення будівельних робіт на майданчику або до повної стабілізації деформаційних процесів;
- спостереження за вертикальними переміщеннями фундаментів новобудови слід розпочинати одразу після влаштування вертикальних елементів цокольного поверху;
- геодезичний моніторинг слід виконувати комплексно (осідання, крени, зміна ширини тріщин);
- спостереження за об'єктами історико-культурної спадщини слід виконувати за регламентом експлуатації з періодичністю не менше 4 циклів на рік.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.1.3-2:2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 55 с.
2. ДБН В.2.1-5-2007. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008.
3. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти споруд. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 36 с.
4. ДБН А.2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва. Київ: Мінрегіонбуд



- України, 2008. 76 с.
5. Ishchenko, Y., Slyusarenko, Y., Melashenko, Y., Yakovenko, M., Ben I. Геотехнічний моніторинг в умовах ущільненої міської забудови. Наука та будівництво. 2020. № 25(3). С. 13-25. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>
 6. Яковенко, М., Нестеренко, О., Зорін, Є., Бень, І. Моніторинг сезонного розкриття тріщин на прикладі Національного заповідника «Софія Київська». Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування. 2021. № (61). С. 276–291. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.276-291>
 7. Яковенко М. Аналіз залежності сезонного розкриття тріщин в залежності від умов навколишнього середовища на прикладі Київського собору святої Софії. ВМС-2020 – International Scientific-Practical Conference of young scientists «BuildMaster-Class-2020»: матеріали наук.-практ. конф. Київ, 2020. С. 152-153.
 8. Яковенко М., Нестеренко О. Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2020. № 55. С. 341-350.
 9. Червинський Я. Проверочные расчеты железобетонных конструкций объекта строительства «Офисный центр с встроенными и пристроенными помещениями и заведениями общественного питания с подземными и надземными паркингами по ул. С. Струтинского, 13–15 в Печерском районе г. Киева». Отчет о научно-технической работе. Київ: ДП НДІБК, 2012.
 10. Матвеев І. Інженерно-геодезичні вимірювання деформацій ростверку огорожі котловану при будівництві об'єкта «Офісний центр з вбудованими та прибудованими приміщеннями та закладами громадського харчування з підземним та надземним паркінгами із знесенням існуючих будівель та споруд на вул. С. Струтинського, 13–15 в Печерському районі м. Києва. Звіт про НДР. Київ: ДП НДІБК, 2012.
 11. Мелашенко Ю. Продовження інженерно-геодезичних вимірювань осідань фундаментів споруди «IQ Business center» на вул. Болсуновській, 13–15 в Печерському районі м. Києва. Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2023.
 12. Матвеев І. Моніторинг за осіданнями торговельно-офісного центру з підземними та надземними паркінгами, будівництво якого ведеться за адресою: вул. Льва Толстого, 57 в Голосіївському районі м. Києва, а також будівель та споруд за адресами: вул. Льва Толстого, 55; 55а; вул. Жиянська, 83/53; вул. Гайдара, 3 і 6, прилеглих до об'єкта. Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2011.
 13. Бамбура А. Продовження робіт з моніторингу напружено-деформованого стану конструкцій експериментальної будівлі торговельно-офісного центру «101 Tower» з підземним та надземним паркінгами, що споруджено в Голосіївському районі м. Києва, на вулиці Л. Толстого, 57. Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2022.
 14. Яковенко М., Зорін Є. Геодезичний контроль стійкості фундаментів при будівництві та експлуатації висотної будівлі за індивідуальним проектом. Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції: матеріали ІІІ наук.-практ. конф., м. Київ, 22-23 квітня 2021. Київ, 2021. С. 93–94.
 15. Матвеев І. Створення спостережної станції за тріщинами в конструкціях Софійського Собору та Дзвіниці і проведення спостережень за ними. Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2003.
 16. Матвеев І. Проведення спостережень за станом тріщин в конструкціях Софійського собору, Дзвіниці, Андріївської та Кирилівської церков у м. Києві. Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2006.
 17. Мелашенко Ю. Інженерно-технічний нагляд за деформаціями (тріщинами) будівель Національного заповідника «Софія Київська». Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2015.
 18. Мелашенко Ю. Проведення комплексу робіт по геодезичному моніторингу на об'єктах Національного заповідника «Софія Київська» (стан тріщин). Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2021.
 19. Матвеев І. Проведення інструментальних спостережень технічного стану комплексу споруд Будинку Уряду України (Головний корпус, флігель, корпус № 2, територія комплексу) на вул. М. Грушевського, 12/2 в м. Києві, (Частина 1). Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2004.
 20. Мелашенко Ю. Інструментальне спостереження за технічним станом комплексу споруд Будинку Уряду України (Головний корпус, флігель, територія комплексу) на вул. Михайла Грушевського, 12/2 та клубу Кабінету Міністрів України на вул. Інститутській, 7 у Печерському районі м. Києва. Книга 2. Інструментальні спостереження за деформаціями комплексу будівель та споруд Будинку Уряду України на вул. Михайла Грушевського, 12/2 у м. Києві. Звіт про НТР. Київ: ДП НДІБК, 2023.
 21. Яковенко М. Щодо питань геодезичного обстеження будівель, що постраждали внаслідок



- воєнної агресії російської федерації. Наука та будівництво. 2023. № 33(3-4). <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-4>
22. Лісеній, О., Глуховський, В., Мар'єнков, М., Дубовик, С., Любченко, І., & Яковенко, М. Обстеження, оцінка технічного стану та умови відновлення житлового будинку на Проспекті В. Лобановського, 6-а в м. Києві, пошкодженого внаслідок воєнних дій. Наука та будівництво. 2023. № 33 (3-4). <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-6>
 23. Любченко, І., Фаренюк, Г., Рубан, Ю. Обстеження та аварійно-відновлювальні роботи на об'єктах, які зазнали пошкоджень внаслідок збройної агресії російської федерації. Наука та будівництво. 2023. № 33(3-4). <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-5>
 24. Табаркевич, Н., Сергійчук, В., Белоконь, А., Табаркевич, О. Особливості обстеження та оцінки технічного стану житлового будинку, пошкодженого внаслідок військових дій, щодо його придатності до подальшої експлуатації. Наука та будівництво. 2023. № 35 (1). URL: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2023-4>
 25. Мелашенко, Ю., Слюсаренко, Ю., Іщенко, Ю., Павлюк, Є. Досвід обстеження панельних будинків, пошкоджених внаслідок бойових дій. Наука та будівництво. 2023. № 36(2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-5>
 26. Зорін, Є., Яковенко, М., Бень, І. Геодезичний моніторинг часових змін деформованого стану під час відновлення будівлі/споруди, що постраждала від бойових дій внаслідок воєнної агресії рф. Наука та будівництво. 2023. № 36(2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-6>
 27. Войтенко С. П., Шульц Р. В., Кузмич О. Й., Кравченко Ю. В. Математичне оброблення геодезичних вимірів. Київ: Знання, 2015.

REFERENCES

1. DBN V.1.3-2:2010. (2010). System for Ensuring Accuracy of Geometric Parameters in Construction. Geodetic Works in Construction. Kyiv: Ministry of Regional Development, Building, and Housing of Ukraine.
2. DBN V.2.1-5-2007. (2008). System of Reliability and Safety Assurance for Construction Objects. Scientific and Technical Support for Construction Objects Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine.
3. DBN V.2.1-10-2018. (2018). Foundations and Bases of Structures. General Provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine.
4. DBN A.2.1-1-2008. (2008). Surveys, Design, and Territorial Activity. Engineering Surveys for Construction. Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine.
5. Ishchenko, Y., Slyusarenko, Y., Melashenko, Y., Yakovenko, M., & Ben, I. (2020). Geotechnical monitoring in conditions of dense urban development. *Science and Construction*, 25(3), 13-25. Retrieved from <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>
6. Yakovenko, M., Nesterenko, O., Zorin, Y., & Ben, I. (2021). Monitoring of seasonal crack opening using the example of the National Reserve "Sofia Kyivska". *Contemporary Issues in Architecture and Urban Planning*, (61), 276–291. Retrieved from <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.276-291>
7. Yakovenko, M. (2020). Analysis of the seasonal cracking pattern dependence on environmental conditions using the example of St. Sophia's Cathedral in Kyiv. In *BMC-2020 – International Scientific-Practical Conference of young scientists 'BuildMaster-Class-2020': Materials of the scientific-practical conference* (pp. 152-153). Kyiv.
8. Yakovenko, M., & Nesterenko, O. (2020). Overview of geodetic monitoring methods for buildings and structures in complex engineering-geological conditions. *Contemporary Issues in Architecture and Urban Planning*, (55), 341-350. Retrieved from <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350>
9. Chervinskyi, Y. (2012). Verification calculations of reinforced concrete structures for the construction project 'Office Center with integrated and attached premises and catering establishments with underground and above-ground parking on S. Strutynskogo Street, 13–15 in the Pechersk district of Kyiv.' Report on scientific and technical research. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
10. Matviiev, I. (2012). Engineering-geodetic measurements of deformations of the retaining wall during the construction of the 'Office Center with integrated and attached premises and catering establishments with underground and above-ground parking, including the demolition of existing buildings and structures on S. Strutynsky Street, 13–15 in the Pechersk district of Kyiv.' Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
11. Melashenko, Y. (2023). Continuation of engineering-geodetic measurements of settlement of foundations for the 'IQ Business Center' building at 13-15 Bolsunovska Street in the Pechersk district of Kyiv. Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
12. Matviiev, I. (2011). Monitoring of settlements for



the commercial-office center with underground and above-ground parking at 57 Lva Tolstogo Street in the Holosiivskiy district of Kyiv, as well as buildings and structures at the following addresses: 55 Lva Tolstoho Street; 55a Lva Tolstoho Street; 83/53 Zhylianska Street; 3 and 6 Haidara Street, adjacent to the object. Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'

13. Bambura, A. (2022). Continuation of work on monitoring the stress-deformed state of structures of the experimental building of the commercial-office center '101 Tower' with underground and above-ground parking, located in the Holosiivskiy district of Kyiv, at 57 L. Tolstogo Street. Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
14. Yakovenko, M., & Zorin, Y. (2021). Geodetic control of the stability of foundations in the construction and operation of a high-rise building according to an individual project. In Special-purpose buildings and structures: Modern materials and constructions: Materials of the III scientific-practical conference (pp. 93-94). Kyiv.
15. Matviiev, I. (2003). Establishment of an observation station for cracks in the structures of St. Sophia's Cathedral and the Bell Tower and conducting observations of them. Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
16. Matviiev, I. (2006). Monitoring the condition of cracks in the structures of St. Sophia's Cathedral, the Bell Tower, Andriivska Church, and Kyrylivska Church in Kyiv. Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
17. Melashenko, Y. (2015). Engineering-technical supervision of deformations (cracks) in the buildings of the National Reserve 'Sofia Kyivska.' Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
18. Melashenko, Y. (2021). Conducting a complex of geodetic monitoring works at the objects of the National Reserve 'Sofia Kyivska' (condition of cracks). Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
19. Matviiev, I. (2004). Conducting instrumental observations of the technical condition of the complex of buildings of the Government House of Ukraine (Main Building, Wing, Building No. 2, complex territory) at 12/2 M. Hrushevskoho Street in Kyiv (Part 1). Research report. Kyiv: State Enterprise 'State Research Institute of Building Constructions'
20. Melashenko, Y. (2023). Instrumental observation of the technical condition of the complex of

buildings of the Government House of Ukraine (Main Building, Wing, complex territory) at 12/2 Mykhaila Hrushevskoho Street and the Cabinet of Ministers of Ukraine club at 7 Instytutaska Street in the Pechersk district of Kyiv (Book 2). Instrumental observations of deformations in the complex of buildings and structures of the Government House of Ukraine at 12/2 Mykhaila Hrushevskoho Street in Kyiv. Research report. Kyiv: State Enterprise 'Research and Design Institute of Building Structures.'

21. Yakovenko, M. (2023). Regarding issues of geodetic survey of buildings affected by the military aggression of the Russian Federation. *Science and Construction*, 33(3-4). Retrieved from <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-4>
 22. Lisenyi, O., Glukhovskiy, V., Marienkov, M., Dubovyk, S., Liubchenko, I., & Yakovenko, M. (2023). Survey, assessment of the technical condition, and conditions for the restoration of the residential building at 6a V. Lobanovsky Avenue, Kyiv, damaged as a result of military actions. *Science and Construction*, 33(3-4). Retrieved from <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-6>
 23. Liubchenko, I., Farenjuk, G., & Ruban, Y. (2023). Survey and emergency-restorative works on objects damaged as a result of the armed aggression of the Russian Federation. *Science and Construction*, 33(3-4). Retrieved from <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-5>
 24. Tabarkevych, N., Sergiychuk, V., Belokon, A., & Tabarkevych, O. (2023). Features of survey and assessment of the technical condition of a residential building damaged as a result of military actions for its suitability for further operation. *Science and Construction*, 35(1). Retrieved from <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2023-4>
 25. Melashenko, Y., Slyusarenko, Y., Ishchenko, Y., & Pavliuk, Y. (2023). Experience in the inspection of panel buildings damaged as a result of combat actions. *Science and Construction*, 36(2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-5>
 26. Zorin, Y., Yakovenko, M., & Ben, I. (2023). Geodetic monitoring of temporal changes in the deformed state during the restoration of a building/structure damaged as a result of combat actions due to the military aggression of the Russian Federation. *Science and Construction*, 36(2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-6>
 27. Voytenko S. P., Shultz R. V., Kuzmich O. Y., Kravchenko Y. V. Mathematical processing of geodetic measurements. Kyiv: Znannia, 2015.
- Стаття надійшла до редакції 10.07.2023