

УДК 624.131.2;69:001.89

¹ **П.Є. Григоровський**, д.т.н., с.н.с., перший заступник директора ДП «НДІБВ» <https://orcid.org/000-0003-0527-5890>;

² **Ю.В. Крошка**, к.т.н., зав. відділом ДП «НДІБВ» <https://orcid.org/0000-0001-6110-8443>;

³ **О.В. Бень** в.о. сектору ДП «НДІБВ» <https://orcid.org/0000-0002-5062-081X>;

⁴ **С.Г. Сухойван**, інженер, <https://orcid.org/0009-0001-9388-1139>.

1,2,3,4 ДП "Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С.Балицького", м. Київ

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ПОШКОДЖЕНИХ ВНАСЛІДОК ВОЄННОЇ АГРЕСІЇ

Анотація. Проблема інженерно-геодезичного моніторингу пошкоджених будівель внаслідок російської агресії є надзвичайно актуальною в сучасних умовах. Важливість цього питання для будівельної галузі зараз особливо значима. Правильний підхід до інженерно-геодезичного моніторингу пошкоджених будівель і споруд дозволить вчасно виявити розвиток деформацій і розробити програму стабілізації, що допоможе запобігти майбутнім руйнуванням.

Для ефективного моніторингу деформацій існує багато різних методів, кожен з яких має свої унікальні характеристики. Серед них виділяються стандартні методи, такі як геометричне нівелювання та лінійно-кутові виміри. Геометричне нівелювання передбачає вимір висотних різниць між різними точками на об'єкті, що дозволяє точно визначити зміну положення конструктивних елементів. Лінійно-кутові виміри включають вимір довжин і кутів між точками, що допомагає виявити будь-які зміни в геометрії будівлі.

Крім стандартних методів, активно застосовуються і автоматизовані методи спостереження. Ці методи включають використання сучасних приладів і технологій, які дозволяють здійснювати безперервний моніторинг деформацій в режимі реального часу. Наприклад, автоматизовані станції тотальної зйомки, GPS-системи, лазерні сканери та інші високоточні прилади дають змогу збирати дані з високою точністю та швидкістю.

Автоматизований моніторинг значно підвищує ефективність і точність спостережень за деформаціями будівель. Використання таких систем дозволяє отримувати дані в режимі реального часу, що є надзвичайно важливим для своєчасного реагування на будь-які зміни стану об'єктів. Це особливо актуально в умовах післявоєнного відновлення, коли швидкість і точність виконання робіт є критичними для забезпечення безпеки та стабільності будівель.

У цій статті представлено результати інженерно-геодезичного моніторингу житлового комплексу в м. Києві. На цьому об'єкті виконувалися геодезичні роботи з вимірювання осідань та горизонтальних зміщень двох секцій.

Ключові слова: інженерно-геодезичний моніторинг, деформації, пошкодження, геодезія, спостереження, датчики нахилу, осідання, горизонтальні зміщення.

Постановка проблеми

Досвід виконання моніторингу за пошкодженими будівлями показує, що використання окремо різних методів інженерно-геодезичного моніторингу не дає повної картини розвитку деформацій. Оскільки використання одного методу інженерно-геодезичного моніторингу є неефективним для вимірювання різних параметрів деформацій пошкодженої будівлі. Одним із розв'язання даної проблеми є комбінація різних методів, на основі яких формується загальна картина розвитку деформацій. Однією з таких комбінацій є використання автоматизованого методу у зв'язці зі стандартними методами геодезичного моніторингу для виміру деформацій та зміщень. Дана комбінація може забезпечити фахівців повними даними про горизонтальні та вертикальні переміщення, як всього комплексу в цілому, так і окремих його елементів конструкції.

Аналіз останніх досліджень

Моніторинг деформацій будівель і споруд інженерно-геодезичними методами та іншими інструмен-

тальними технологіями регламентовано чинними нормативними документами [1 - 6].

Застосування інженерно-геодезичних методів моніторингу є визначення зміни геометричних параметрів конструкцій під час обстеження технічного стану будівель та споруд, що постраждали від воєнної агресії, представлено у статті [7].

Інженерно-геодезичний моніторинг часових змін деформованого стану під час відновлення будівлі/споруди, що постраждала від бойових дій внаслідок воєнної агресії рф, розглянуто в статті [8].

Удосконалення та комбінування геодезичних методів моніторингу розглядалося у публікаціях [9, 10].

Темі обстеження та підходам до відновлення будівель та споруд присвячено публікації [7-11, 12], що зосереджені на висвітленні загальнодержавних проблем, з якими стикаються науковці в процесі відновлення, та шляхах їх вирішення.

Темі інженерно-геодезичного моніторингу деформацій будівель і споруд на сьогодні приділили значну увагу вітчизняні вчені геодезисти та геотехніки: Баран П.І., Войтенко С.П., Шульц Р.В.,

Староверов В.С, Боровий В.О., Бурачек В.Г., Малік Т.М., Андрущенко М.Ю., Третяк К.Р. та інші.

Мета роботи

Метою статті є привернення уваги до використання комбінованих методів інженерно-геодезичного моніторингу за деформаціями будівель, пошкоджених внаслідок влучання уламків боєприпасу на прикладі житлового комплексу в м. Києві.

Результати досліджень

Житловий комплекс розташований у м. Київ на правому березі. Даний житловий комплекс представлений у вигляді двох блоків, які з'єднані переходом на 1 поверсі.

Під час повітряної тривоги 02 січня 2024 року до Блоку 2 житлового комплексу потрапив уламок боєприпасу, що спричинив пошкодження будівельних конструкцій та викликав пожежу на 22 поверсі. Через 2 дні було знято показники з датчиків нахилу, виконано геометричне нівелювання коротким променем за програмою II класу точності для визначення осідань будівель та геодезичні виміри електронним тахеометром для визначення горизонтальних зміщень. Моніторинг виконаний за допомогою оптичного нівеліра N1007, електронного тахеометра Sokkia Mi102 та датчиками нахилу ВКВ-2.

Інженерно-геодезичний моніторинг за пошкодженим комплексом виконується кількома методами, що в сумі дають повну інформацію про деформацію



Рис. 1 Місце влучання



Рис. 2 Місце влучання всередині Блоку 2 на 22 поверсі



Рис. 3 Зовнішній вигляд датчика на пілоні

Таблиця 1

Технічні характеристики датчика нахилу ВКВ-2

Діапазон виміру кутів у двох гранях, хв	±30
Поріг чутливості, с, не більше	3
Допустиме середнє квадратичне відхилення вимірювання кута, с не більше :	
- в діапазоні кутів +/- (0-10) хв.	±5
- в діапазоні кутів +/- (10-30) хв.	±10
Максимальний час вимірів, які можуть запам'ятовуватися під час автономної роботи (при моніторингу)	16000
Інтервали часу між двома сусідніми вимірами при моніторингу:	5 с, 10 с, 30 с, 1хв, 5хв, 10хв, 30хв; 1 година, 6 годин, 12 годин, 24 години;
Внутрішні джерела живлення:	
- датчика ВКВ-2: - елементи живлення типу D-1,5В	2 шт;
- пульта ПДС-01: - елементи живлення типу «Крона» 9В	1 шт.
Тривалість роботи датчика від вмонтованого джерела живлення без його заміни, часів, не менше:	
- при моніторингу з інтервалом 5 с	600
- при моніторингу з інтервалом 30 с	3600
- при моніторингу з інтервалом 1 хв	7200
- при моніторингу з інтервалом більше ніж 1 хв	14400
Розміри, мм, не більше:	
- платформа з датчиком ВКВ-2	230*180*130
- пристрій управління ПДС-01	45*80*38
Маса, кг, не більше	
- платформа з датчиком ВКВ-2	5
- пристрій керування ПДС-01	0,5

та зміщення комплексу, як в цілому, так і локально по окремих елементах.

Спостереження за горизонтальними зміщеннями пошкодженої будівлі за допомогою автоматизованого методу (датчиків нахилу).

Спостереження за горизонтальними зміщеннями пошкодженого комплексу виконано автоматизо-

ваним методом за допомогою датчиків нахилу ВКВ-2.

В основі роботи датчика лежить явище впливу гравітаційного поля на чутливий елемент. При знаходженні контрольованого об'єкта поза статичним станом датчик вимірює результат по взаємному впливу не тільки вектору земної гравітації, але і всіх векторів прискорення і вібрації, що впливають на об'єкт,

що вимірює. За конструкцією всі застосовувані інклінометри умовно поділяються на три основні групи: одновісні інклінометри (що працює в одній осі X), двовісні інклінометри (що працюють у двох осях X та Y), тривісні (що працюють у трьох осях X, Y та Z).

Датчик ВКВ-2 є двовісний, технічні характеристики наведені в таблиці 1.

Вимірювання горизонтальних зміщень проводилось системою моніторингу, яка складається з шести приладів ВКВ-2, закріплених на трьох пілонах Блоку 1 та трьох пілонах Блоку 2 на рівнях в умовній системі висот -21,800 м., +32,700 м., +62,500 м., період моніторингу складав одну годину. Результати вимірювань накопичувались у блоці пам'яті кожного приладу. Оператор, проводив зчитування інформації з кожного приладу. Далі інформація оброблялась на комп'ютері, на якому встановлене спеціальне програмне забезпечення.

Програма обробки дає інформацію про величини нахилу пілона в точках, де встановлені вимірювальні прилади. На рисунку 4 наведені позначення вимірювальних параметрів: осі кутів відхилення X, Y, результуючий кут нахилу Σ , азимутний напрям нахилу α у системі координат приладу.

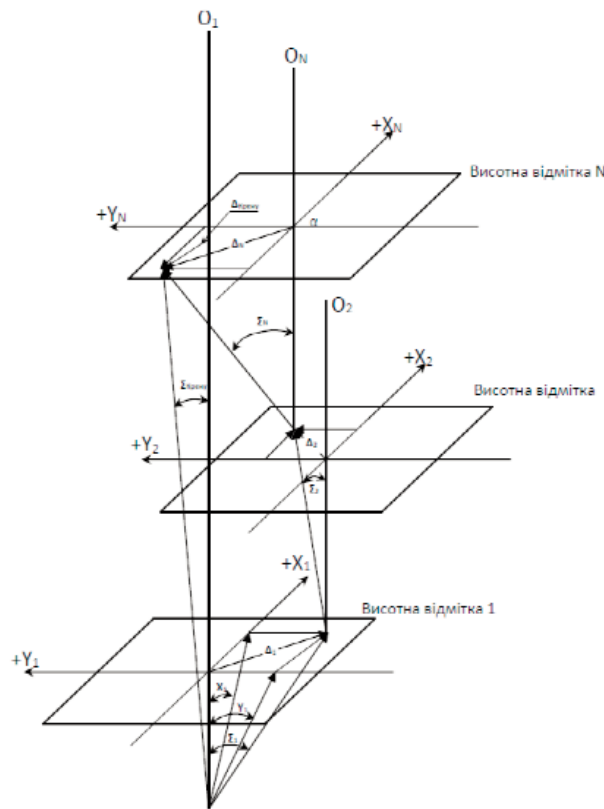


Рис. 4 Позначення вимірюваних параметрів

У момент встановлення датчиків системи моніторингу на пілонах будинків вони встановлені у вертикальне положення, так званий нульовий стан. Пілон при цьому вважається абсолютно рівним і вертикально зорієнтованим в просторі, відповідно вертикалі O₁, O₂, O_N збігаються. Відомо, що пілони не мають властивостей абсолютно жорсткого тіла і поводяться як динамічні системи (азимутний напрям нахилу, кут нахилу на кожній висотній відмітці

різний і змінюються в часі). Тому для визначення лінійного відхилення кожної висотної відмітки (горизонтальна площина на рівні якої встановлюються вимірювальні прилади системи моніторингу) від вертикалі будинку O₁, необхідно приводити показання вимірювальних приладів до системи координат, найнижчої висотної відмітки, а пілон між висотними відмітками вважати жорстким.

Додатні значення кутів нахилу всіх датчиків системи по осях X та Y зорієнтовані в одному напрямку. Вісь X збігається з літерними назвами осей, вісь Y збігається з цифровими назвами осей об'єкта будівництва.

Значення лінійного відхилення в системі координат датчика розраховується по формулі:

$$\Delta_N = L_N \times \text{tg } \Sigma_N,$$

де Δ_N - зміщення в мм, L_N - відстань між висотними рівнями (для найнижчого рівня це відстань від поверхні землі) в мм, Σ_N - результуючий кут, град.

Значення лінійного відхилення висотної відмітки від вертикалі O₁ розраховується по формулі:

$$\Delta_{N_{\text{крен}}} = H_N \times \text{tg } \Sigma_{N_{\text{крен}}},$$

де $\Delta_{N_{\text{крен}}}$ - зміщення в мм, H_N - висота від землі до висотної відмітки в мм, $\Sigma_{N_{\text{крен}}}$ - результуючий кут, град.

$$\Sigma_{N_{\text{крен}}} = \sqrt{(X_{N_{\text{крен}}}^2 + Y_{N_{\text{крен}}}^2)}$$

$$X_{N_{\text{крен}}} = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N$$

$$Y_{N_{\text{крен}}} = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_N$$

де $X_{N_{\text{крен}}}$ та $Y_{N_{\text{крен}}}$ кутові відхилення в системі координат датчика найнижчого рівня, X_{1,2,...,N} та Y_{1,2,...,N} кутові відхилення кожного датчика.

Аналіз результатів спостережень в момент пошкодження житлового комплексу показав, що змін показів датчиків нахилу Блоку 1 на позначках -21,800 м, + 32,700 та +62,500 м не зафіксовано тому результати в статті не розглядаються та не наводяться.

Змін показів датчика нахилу Блоку 2, я конструкції якого потрапив уламок боеприпасу, на позначці -21,800 м не зафіксовано – рисунок 5. По датчику на позначці + 32,700 м. о 8 ранку 02.01.2024 зафіксовано разову зміну нахилу величиною 0,1 ‰ (приблизно 2 мм) по осі Y – рисунок 6. Надалі покази датчика повернулися до початкового положення. По датчику на позначці + 62,500 м. о 8 ранку 02.01.2024 зафіксовано зміна нахилу величиною 0,1 ‰ (приблизно 2 мм) по осях X та Y – рисунок 7. Надалі покази датчиків не змінилися.

Виконавши аналіз оброблених даних з датчиків нахилу ми можемо зробити висновок, що в Блоці 1 комплексу не зафіксовано горизонтальних та вертикальних зміщень пілонів, а в Блоці 2 на + 32,700 м та +62,500 м зафіксовані горизонтальні та вертикальні зміщення елементів конструкції Блоку 2. Для визначення типу деформацій, локальні чи загальні, необхідно виконати додатково вимірювання крену будівлі.

Спостереження за горизонтальними зміщеннями Блоку 2 житлового комплексу за допомогою електронного тахеометра

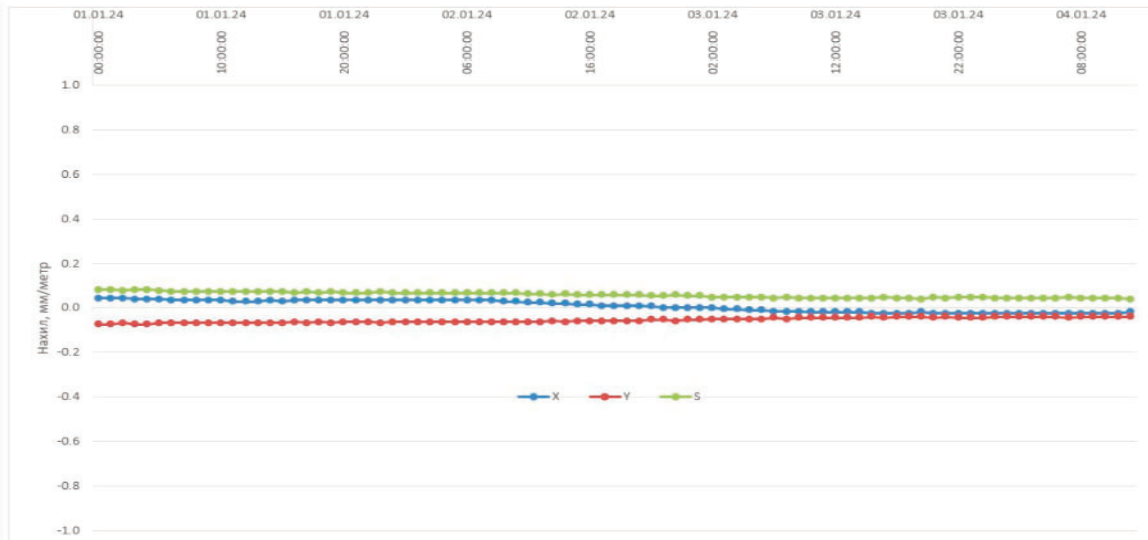


Рис. 5 Дані з датчика, встановленого на позначці -21,800 м. (блок №2) за період з 01.01.2024 по 04.01.2024

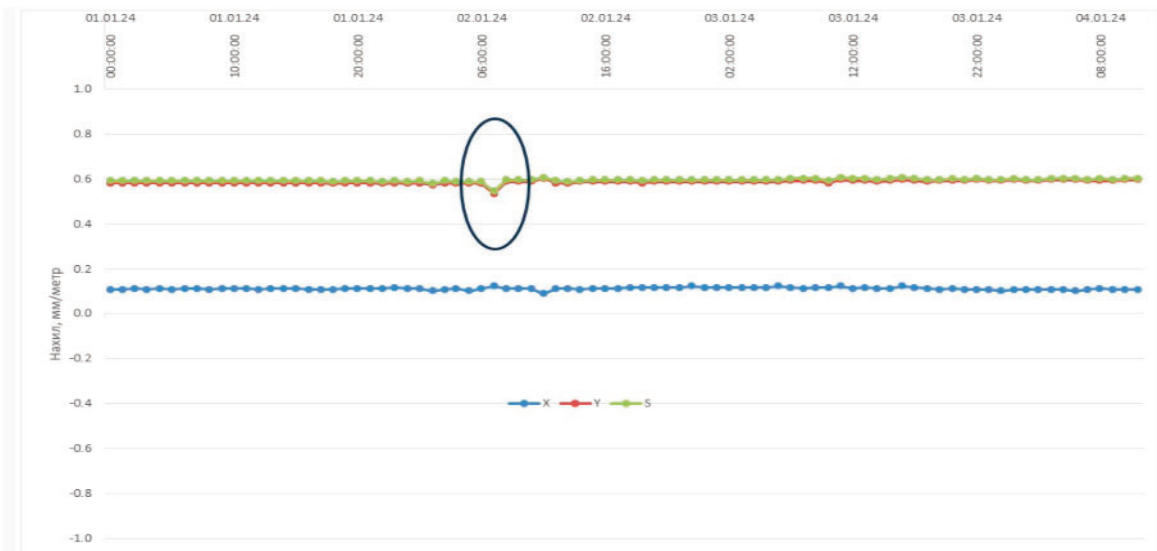


Рис. 6 Дані з датчика, встановленого на позначці +32,700 м. (блок №2) за період з 01.01.2024 по 04.01.2024



Рис. 7 Дані з датчика, встановленого на позначці +62,500 м. (блок №2) за період з 01.01.2024 по 04.01.2024



Рис. 8 Марка спостереження у вигляді світловідбивальні плівки

Додатково було виконано визначення горизонтальних зміщень пошкодженого Блоку 2 житлового комплексу, спостереження виконано за допомогою електронного тахеометра побудовою лінійно-кутової мережі.

Для інженерно-геодезичного моніторингу горизонтальних зміщень

Блоку 2 використовувалися марки спостереження – світловідбивальні плівки – рисунок 8.

Марки спостереження закріплені на фасаді Блоку 2 житлового комплексу – рисунок 9.

Вимірювання горизонтальних переміщень виконано методом прямої багаторазової засічки за допомогою електронного тахеометра. Цей метод забезпечує отримання величин горизонтальних переміщень з похибкою, що не перевищує ± 2 мм. Для виконання цих робіт використовується електронний тахеометр з кутовою точністю $2''$. При середній квадратичній похибці виміру кутових напрямків, рівних $m\alpha = \pm 2''$, і відстані до контрольних марок $\approx 100 \div 150$ м очікувана середня квадратична похибка поперечного лінійного переміщення буде дорівнювати:

$$m\Delta = m\alpha \cdot L/\rho'' = \pm 2 \cdot 100000/206265 = \pm 1,0 \text{ мм.}$$

Похибка вимірювання похилої відстані електронним тахеометром становить ± 2 мм. Тож за умови рівного впливу, середньоквадратична похибка визначення координат марки спостереження складатиме $\sqrt{1,0+2} \approx \pm 1,7$ мм. Також вираховуються похибки центрування приладу, наведення на мішень відбивача та вплив довкілля. Таким чином, величина похибки визначення координат контрольних марок не перевищувала $\approx \pm 2$ мм.[8] Вимірювання виконуються за схемою наведеною на рисунку 10.

Після пошкодження Блоку 2 житлового комплексу виконано 2 цикли спостереження, отримані значення порівняно зі значеннями минулих циклів та приведено у таблиці 2.

Проаналізувавши отримані дані можемо зробити висновок, що марки спостереження майже не змінили своє планове положення, окрім марки спостереження № 4 котра була біля місця влучання. Порівнюючи дані горизонтальних зміщень отриманих з датчиків нахилу та електронним тахеометром можна сказати, що датчики нахилу зафіксували локальні горизонтальні зміщення опорних елементів Блоку 2, що в свою чергу не несуть ніякої небезпеки стійкості будівлі.

Спостереження за осіданнями пошкодженої будівлі методом геометричного нівелювання.

Спостереження за осіданнями пошкодженого комплексу виконується в такій послідовності:

- встановлення деформаційних марок на вертикальних елементах пошкодженого комплексу;
- інструментальні виміри величини вертикальних переміщень;
- обробка та аналіз результатів спостережень;
- подання висновків та рекомендацій у вигляді звіту.

Геодезичні спостереження за осіданням пошкодженого комплексу ведуться по закріплених точках – деформаційних марках.

Застосована конструкція деформаційної марки – з кулеподібною голівкою – рисунок 11.

Деформаційні марки закладаються в місцях найбільш ефективного прояву очікуваних осідань будівель.

Для виміру осідання застосовувався метод геометричного нівелювання короткими променями за програмою II класу. Цей метод дозволяє при незначних швидкостях осідання за короткий проміжок часу визначити величину і швидкість вертикальних переміщень осадкових марок. Осідання будівлі вимірюються нівелюванням по способу сполучення (або з використанням цифрових нівелірів з кодовими рейками).

Визначення осідання методом короткого променя виконувався з дотриманням наступних умов:

- висотна опорна мережа складається з 3 нерухомих знаків;
- застосовувався нівелір високої точності з плос-



Рис. 9 Схема закріплення марок спостереження на фасаді пошкодженого Блоку 2 житлового комплексу

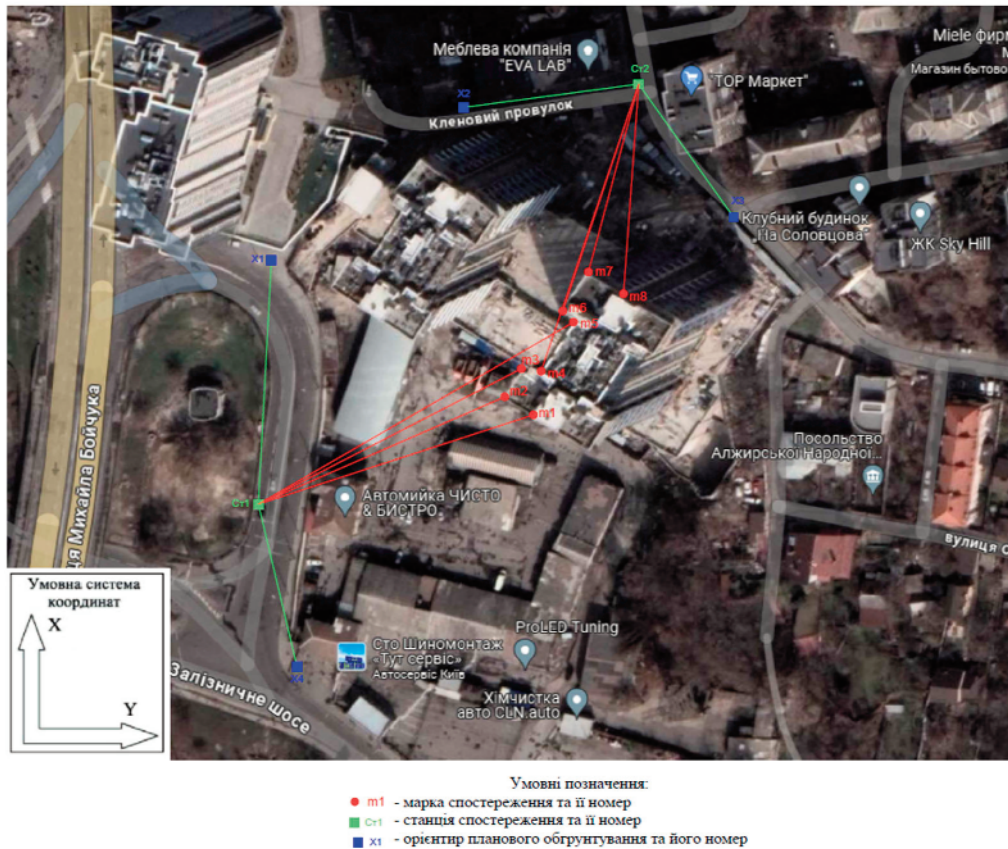


Рис. 10 Схема вимірювання марок спостереження

Таблиця 2

Результат спостереження за горизонтальними зміщеннями

№ точки	26.12.2023		04.01.2024		10.01.2024	
	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔX , мм	ΔY , мм
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	1	-1	1	0
3	0	0	0	-1	1	1
4	0	0	6	-8	1	2
5	0	0	2	3	2	1
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	1	0	1
8	0	0	1	1	1	0

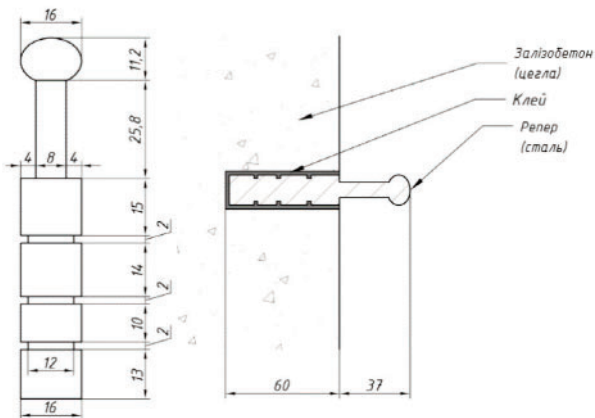


Рис. 11 Конструктив та спосіб закріплення деформаційної марки

копаралельною пластинкою, ретельно вивіреної, прокомпарованих штрихових рейок з інварною смугою;
 – нівелювання марок виконувалося по наміченим ходам, по одній і тій же схемі, при двох горизонтах інструмента.

Для виміру осідання житлового комплексу застосовувався прецизійний нівелір Ні 007.

На кожній станції здійснювався польовий контроль спостережень: підраховувалася різниця основної та додаткової шкали рейки (не більше 3 поділок барабана – 0,15 мм.) та різниця в подвійних перевищеннях по основній та додатковій шкалах не перевищує 6 поділок барабана (0,3 мм.).

Обробка результатів спостережень містить в собі перевірку польових журналів та оцінку точності проведених польових робіт.

Після виконання зрівнювальних обчислень та отримання висотних позначок марок обчислюють такі величини:

Значення осідань по деформаційним маркам

№ Деформаційної марки	04.12.2024	04.01.2024		11.01.2024	
	Δh, мм	Δh, мм	ΔH, мм	Δh, мм	ΔH, мм
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Середнє осідання			0,0		0,0

величину осідання деформаційної марки ΔH між двома останніми циклами - поточним і попереднім:

$$\Delta h = H_j - H_{j-1};$$

сумарне осідання деформаційної марки з початку спостережень

$$\Sigma \Delta H = H_j - H_0;$$

середнє осідання будівлі в цілому з початку спостережень

$$\Sigma \Delta H_{\text{сер}} = \Sigma \Delta H / n ;$$

де H_j - позначка деформаційної марки у поточному циклі спостережень, H_{j-1} - позначка деформаційної марки у попередньому, H₀ - позначка деформаційної марки у початковому циклі спостережень, n - кількість марок на будівлі.

Порівнявши отримані дані трьох циклів вимірювань можна зробити висновки, що осідань фундаментів Блоку 1 та Блоку 2 житлового комплексу в результаті пошкодження не зафіксовано.

Висновки

В даній статті висвітлена інформативність та актуальність виконання інженерно-геодезичного моніторингу пошкоджених житлових комплексів уламками боеприпасу. Інженерно-геодезичний моніторинг відіграє значну роль в спостереженні за пошкодженими будівлями. Використання одночасно

різних методів дає повну картину розвитку деформацій, тим самим сприяє розробці програми стабілізації деформацій для запобігання майбутніх руйнувань. Спостереженню підлягають щонайменше два параметри, які залежать від конструктивної схеми будівлі. Для найкращого результату кожен параметр потрібно спостерігати відповідним методом інженерно-геодезичного моніторингу, який зможе забезпечити найкращу достовірність результатів.

Враховуючи результати інженерно-геодезичного моніторингу осідань та автоматизованого моніторингу горизонтальних зміщень житлового комплексу, можна зробити висновки, що влучання уламка боеприпасу, що відбулося 02 січня 2024 року, значною мірою не вплинуло на деформований стан споруди.

В перспективі даного методу є виконання інженерно-геодезичного моніторингу на інших типах будівель або споруд для отримання відповідних даних, на основі яких буде можливо зробити висновок доцільності використання комбінованого моніторингу.

Інженерно-геодезичний моніторинг дозволяє вчасно виявляти критичні зміни в конструкціях будівель та вживати відповідних заходів для запобігання подальшим руйнуванням та забезпечення безпеки при відновлюванні конструкцій.

Література

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. Наказ від 06.08.2022 № 144 «Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів» / Міністерство розвитку громад та територій України. Київ: 2022. URL: <https://www.minregion.gov.ua/base-law/reg-politics/plan-diyalnosti-minregionu-z-pidgotovki-proektiv-regulyatornih-aktiv/nakaz-vid-06-08-2022-%E2%84%96-144-pro-zatverdzhennya-metodyky-provedennya-obstehennya-ta-oformlennya-jogo-rezultativ/>
3. ДБН В.2.1-5-2007. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008.
4. ДБН В.2.1-10-2018. Основи та фундаменти споруд. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 36 с.
5. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Інженерні вишукування для будівництва. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 76 с.
6. ДБН А.3.1.-5-2016. Організація будівельного виробництва. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 46 с.
7. Яковенко, М. Щодо питань геодезичного обстеження будівель, що постраждали внаслідок воєнної агресії російської федерації. Наука та будівництво. 2023. No 33(3-4). URL: <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-4>
8. Яковенко, О., Бень, І., Зорін, Є. Геодезичний моніторинг часових змін деформованого стану під час відновлення будівлі/споруди, що постраждала від бойових дій внаслідок воєнної агресії рф. 2023. No 33(3-4). URL:

<https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-6>

9. Ishchenko, Y., Slyusarenko, Y., Melashenko, Y., Yakovenko, M., Ben I. Geotechnical monitoring in the conditions of restrained urban development. *Science and Construction*. 2020. No 25(3). C. 13-25. URL: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>

10. Яковенко М. Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах / М. Яковенко, О. Нестеренко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2020. No 55. С. 341-350. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350>

11. Любченко, І., Фаренюк, Г., Рубан, Ю. Обстеження та аварійно-відновлювальні роботи на об'єктах, які зазнали пошкодження внаслідок збройної агресії російської федерації. *Наука та будівництво*. 2023. No 33(3-4). URL: <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-5>

12. 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. No 33 (3-4). URL: <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-6>

References

1. DBN V.1.3-2:2010. System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. *Geodetic works in construction*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010. 55 c.

2. Order of 06.08.2022 No. 144 "On Approval of the Methodology for Conducting the Survey and Registration of its Results" / Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine. Kyiv: 2022. URL: <https://www.minregion.gov.ua/base-law/reg-politics/plan-diyalnosti-minregionu-z-pidgotovki-proektiv-regulyatornih-aktiv/nakaz-vid-06-08-2022-%E2%84%96-144-pro-zatverdzhennya-metodyky-provedennya-obstezhennya-ta-oformlennya-jogo-rezultatuv/>

3. DBN V.2.1-5-2007. System of ensuring reliability and safety of construction objects. *Scientific and technical support of construction objects*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2008.

4. DBN V.2.1-10-2018. Bases and foundations of structures. Basic provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2018. 36 c.

5. DBN A.2.1-1-2008. Surveys, design and territorial activities. *Engineering surveys for construction*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2008. 76 c.

6. DBN A.3.1.-5:2016. Organisation of construction production. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016. 46 c.

7. Yakovenko, M. On the issues of geodetic survey of buildings damaged due to military aggression of the Russian Federation. *Science and construction*. 2023. No 33(3-4). URL: <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-4>

8. Yakovenko, O., Ben, I., Zorin, E. Geodetic monitoring of temporal changes of the deformed state during building/structure restoration of wars military aggression of the Russian Federation. 2023. No 33(3-4). URL: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-6>

9. Ishchenko, Y., Slyusarenko, Y., Melashenko, Y., Yakovenko, M., Ben I. Geotechnical monitoring in the conditions of restrained urban development. *Science and Construction*. 2020. No. 25(3). C. 13-25. URL: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>

10. Yakovenko M. (2020). Overview of types of geodetic monitoring of buildings and structures in complex engineering and geological conditions. *Modern problems of architecture and urban planning*, 55, 341-350. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350>

11. Liubchenko, I., Farenjuk, G., Ruban, Y. Survey, emergency response and restoration operation of engineering structures damaged as a result of the Russian Federation armed aggression. *Science and Construction*. 2023. No 33(3-4). URL: <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-5>

12. Lisenyi, O., Hlukhovskiy, V., Maryenkov, M., Dubovyk, S., Lyubchenko, I., & Yakovenko, M. Survey, assessment of technical condition and suitability for further operation of the residential building at V. Lobanovskyi Avenue, 6-a, Kyiv, which was damaged due to military activities. *Science and construction*. 2023. No. 33 (3-4). URL: <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-6>

¹ **P.E. Hryhorovskiy**, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow, First Deputy Director of State Enterprise "NDIBV" <https://orcid.org/000-0003-0527-5890>;

² **Y.V. Kroshka**, Ph.D, Head of the Department of State Enterprise "NDIBV" <https://orcid.org/0000-0001-6110-8443>;

³ **O.V. Ben**, <https://orcid.org/0000-0002-5062-081X>;

⁴ **S.G. Sukhoivan** <https://orcid.org/0009-0001-9388-1139>.

1, 2, 3, 4 State Enterprise «Research Institute of Construction Production V.S. Balitskiy»

ENGINEERING AND GEODESIC MONITORING OF DEFORMATIONS OF BUILDING STRUCTURES DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY AGGRESSION

Abstract. *The problem of engineering and geodetic monitoring of damaged buildings as a result of Russian aggression is extremely relevant in today's environment. The importance of this issue for the construction industry is particularly high. The right approach to the engineering and geodetic monitoring of damaged buildings and structures will allow timely detection of deformation development and development of a stabilisation programme to help prevent future damage.*

There are many different methods for effective deformation monitoring, each with its own unique characteristics. Among them are standard methods such as geometric levelling and linear-angle measurements. Geometric levelling involves measuring the height differences between different points on an object, which allows you to accurately determine the change in the position of structural elements. Linear-angle measurements include measuring the lengths and angles between points, which helps to identify any changes in the geometry of the building.

In addition to standard methods, automated observation methods are also actively used. These methods include the use of modern instruments and technologies that allow for continuous monitoring of deformations in real time. For example, automated total station surveys, GPS systems, laser scanners and other high-precision instruments allow data to be collected with high accuracy and speed.

Automated monitoring significantly improves the efficiency and accuracy of observations of building deformations. The use of such systems allows for real-time data to be obtained, which is extremely important for timely response to any changes in the condition of facilities. This is particularly relevant in the context of post-war reconstruction, when the speed and accuracy of work are critical to ensuring the safety and stability of buildings.

This article presents the results of engineering and geodetic monitoring of a residential complex on Zvirynetska Street. At this facility, geodetic works were carried out to measure the settlements and horizontal displacements of two sections.

Keywords: *engineering and geodetic monitoring, deformation, damage, geodesy, observation, tilt sensors, subsidence, horizontal displacements.*