

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ ПІСЛЯ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У роботі досліджено можливості застосування геодезичних методів для моніторингу деформацій будівель після вибухових навантажень. Проаналізовано основні види деформацій конструкцій, що виникають унаслідок вибухових впливів, а також сучасні геодезичні методи спостереження за їх змінами. Визначено особливості проведення геодезичних вимірювань для оцінки зміщень та нахилів будівель.

Ключові слова: деформація, будівля, вибухові навантаження, геодезичні вимірювання, моніторинг.

Abstract. The paper examines the possibilities of applying geodetic methods for monitoring building deformations after explosive loads. The main types of structural deformations caused by explosive impacts are analyzed, as well as modern geodetic methods for observing their changes. The specific features of conducting geodetic measurements for assessing building displacements and tilts are determined..

Keywords: structure deformation, building, explosive loads, geodetic surveying, monitoring.

Вступ

Оцінка технічного стану будівель та споруд, що зазнали вибухових навантажень, є критично важливим завданням для забезпечення безпеки їхньої подальшої експлуатації, консервації або прийняття рішень щодо демонтажу. Вибухові хвилі та сейсмічний вплив від вибухів спричиняють складні нелінійні деформації, зсуви та руйнування несучих конструкцій, які часто мають прихований характер [1]. Це призводить до різних видів деформацій конструкцій, зниження їхньої несучої здатності та виникнення аварійних ситуацій [1, 2,9]. Тому важливо своєчасно оцінити технічний стан та прийняти рішення щодо їх подальшого відновлення. Одним із ефективних інструментів контролю таких змін є геодезичний моніторинг, який дозволяє з високою точністю визначати зміщення, осідання, нахили тощо.

Метою роботи є обґрунтування та узагальнення принципів проєктування геодезичної основи і раціонального розміщення деформаційних марок для інструментального моніторингу будівель, що зазнали вибухових навантажень..

Результати дослідження

В умовах військового стану значна кількість будівель та інженерних споруд зазнає впливу навантажень від вибухових хвиль чи прямих ударів (рис.1). За результатами досліджень [1], прогресуюче обвалення спостерігається у 25% об'єктів, причому 100% цих випадків припадає на безкаркасні цегляні та великопанельні будівлі. Водночас монолітно-каркасні будівлі ($\approx 37,5\%$) у жодному випадку не зазнали прогресуючого обвалення (0%), що свідчить про їх вищу стійкість навіть при значних пошкодженнях. Крім того, значні наслідки (зокрема пожежі) зафіксовано у 25% випадків, тоді як 75% пошкоджень мають незначний характер. Тому, безкаркасні конструкції через вибухову хвилю зазнають більш значних наслідків. Будівлі з монолітним каркасом демонструють найбільшу стійкість. Наведені дані свідчать про необхідність підвищення рівня контролю технічного стану будівель, особливо тих, що зазнали впливу вибухових навантажень. У цьому контексті важливу роль відіграє геодезичний моніторинг деформацій.

Геодезичний моніторинг деформацій - це визначення за допомогою геодезичних приладів та методів просторового положення об'єкту і періодичні визначення змін його положення відносно умовно горизонтальних та вертикальних площин. Геодезичний моніторинг включає в себе систему вимірювань, фіксації результатів та аналітичну обробку отриманих даних [3,4,5,7]. Геодезичному моніторингу підлягають фундаменти, конструкції будівель або їх частин, об'єкти інфраструктури (Рис.2).

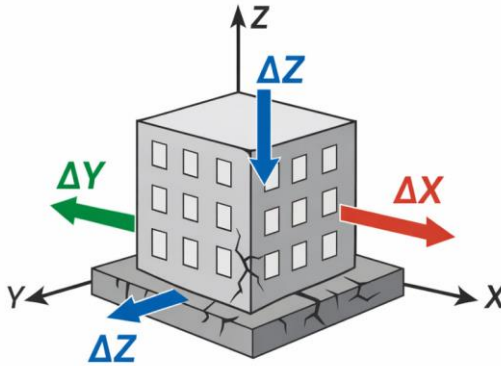


Рис.1. Схема зміщення будівлі через вибухове навантаження: ΔX - зміщення вздовж довгої сторони (повздовжнє), ΔY - зміщення поперек (поперечне), ΔZ - вертикальне (осідання)



Рис.2. Структура геодезичних робіт по деформації будівлі після вибухового навантаження[8]

Визначальним етапом геодезичного моніторингу є проектування та закладання геодезичної основи, вимоги до якої в умовах пошкоджених об'єктів мають специфічні особливості (Рис.3).

1. **Стабільність основи для закріплення.** Деформаційні марки необхідно закладати на найбільш міцних, відносно незруйнованих елементах конструкцій (вцілілі ділянки фундаменту, капітальні стіни, несучі колони). У разі значного пошкодження фундаменту або порушення цілісності несучих елементів, опорні репери дублюють або виносять за межі зони деформацій на прилеглі стабільні конструкції чи спеціально закладені ґрунтові репери.

2. **Просторове охоплення об'єкта.** Контрольні точки мають рівномірно розподілятися як по зовнішньому периметру будівлі, так і всередині неї (за умови безпечного доступу). Такий підхід забезпечує можливість комплексної тривимірної оцінки деформацій усіх ключових елементів конструкції: фасадних площин, кутових з'єднань, покрівлі та внутрішніх несучих стін.

3. **Моніторинг критичних зон.** Підвищену щільність геодезичних марок слід передбачати в локаціях, що зазнали найбільших структурних пошкоджень. До них належать зони розкриття магістральних тріщин, нахилі колони, деформовані пілони та ділянки поблизу обвалених перекриттів. Це дозволяє детально відстежувати динаміку розвитку руйнувань та виявляти небезпечні крен.

4. **Оптимальність умов спостережень.** Розміщення контрольних точок повинно забезпечувати пряму видимість з позицій встановлення вимірювальних приладів (електронних тахеометрів, нівелірів, лазерних

сканерів). Під час проектування мережі необхідно уникати локацій, де пряма видимість може бути перекрита будівельним сміттям, уламками конструкцій або тимчасовими підпірними системами, що часто виникають на об'єктах після вибухів.

В умовах значних руйнувань, коли класичне закріплення ускладнене, допускається використання тимчасових штативів, консолей або перехідних центрів для кріплення відбивачів і приймачів GNSS. Просторова конфігурація точок проектується таким чином, щоб створити надійну геодезичну мережу з високим рівнем надлишковості вимірювань для подальшого математичного зрівнювання результатів. Усі закладені реperi та марки підлягають обов'язковій паспортизації з фіксацією їхніх початкових просторових координат (X, Y, Z) у єдиній системі, що слугує нульовим циклом (базою) для обчислення векторів деформацій під час наступних етапів моніторингу.

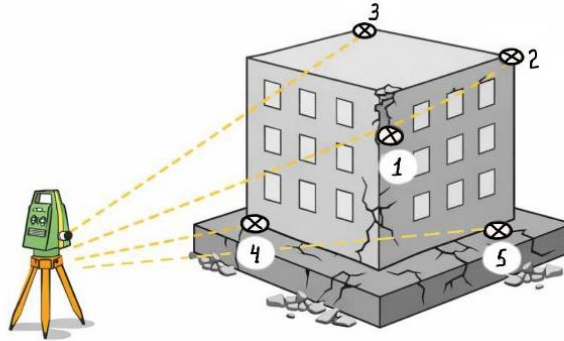


Рис.3. Схема розміщення контрольних точок на будівлі

Для фіксації просторових змін застосовують комплекс сучасних технологій, що включає високоточну електронну тахеометрію, геометричне нівелювання, спостереження за допомогою глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) та наземне лазерне сканування. Вибір конкретного методу чи їхньої інтеграції залежить від ступеня руйнування об'єкта, необхідної точності та умов видимості на майданчику. Такий комплексний підхід дозволяє з високою достовірністю визначати як локальні дефекти та зсуви, так і загальні крени чи осідання пошкодженої споруди.

Результатом проведення моніторингу є отримана інформація, якої достатньо для обґрунтованого висновку про поточний геометричний стан будівлі.

Висновки

Достовірність та точність геодезичного моніторингу будівель, що зазнали впливу вибухових хвиль, безпосередньо залежать від раціонально спроектованої геодезичної основи. Дотримання узагальнених принципів розміщення деформаційних марок – забезпечення їхньої стабільності, комплексного просторового охоплення об'єкта, посиленого контролю критичних зон та оптимальних умов видимості – дозволяє створити надійну мережу спостережень. Отримані дані можуть стати основою для безпечного безпечного планування аварійно-відновлювальних робіт, реконструкції або ухвалення рішень щодо подальшого демонтажу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Донець Т. П. Характеристика пошкоджень будівель з різними конструктивними системами внаслідок воєнних дій // Наука та будівництво. Том 40 № 2 (2024) DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2024-6>
2. Ратушняк, Г. С., Панкевич, В. В. Ідентифікація факторів, які визначають безпеку вікон при дії вибухової хвилі // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 35(2), 42–48. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-42-48>
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. Київ: УкрНДНЦ, 2017. 58 с.
4. ДБН В.1.3 - 2:2010. Геодезичні роботи у будівництві. Київ., 2010. 70 с.
5. ДСТУ Б В.2.1-30:2014. ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд. К., 2015. 29 с.
6. Ратушняк Г. С. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 2 : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич, Ю. С. Бікс, Т. Ю. Вовк. Вінниця : ВНТУ, 2014. 99 с.
7. Шинкаренко О. М. Види геодезичного моніторингу за змінами деформацій будівель // Інноваційні методи проектних та геодезичних робіт : матеріали 85-ї міжнар. студ. наук. конф. (13 квіт. 2023 р., Харків) / Харків : ХНАДУ, 2023. С. 27–29.

8. Яковенко М. Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах // Сучасні проблеми архітектури та містобудування : зб. наук. праць. Київ : КНУБА, 2020. Вип. 55. С. 341–350.
9. Гетун Г., Колякова В., Безклубенко І., Соломін А. Конструктивні рішення вибухостійких будівель з приміщеннями цивільного захисту населення// Будівельні конструкції. Теорія і практика, 2023. № 13. С. 41–50. DOI: 10.32347/2522-4182.13.2023.41-50.

Панкевич Ольга Дмитрівна - к.т.н., доцент кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет e-mail: pankevich@vntu.edu.ua.

Язовицька Марина Євгенівна — студентка групи 1Б-25б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: marynayazovytska@gmail.com.

Pankevych Olga - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University e-mail: pankevich@vntu.edu.ua.

Yazovytska Maryna Y. — student of group 1B-25b, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: marynayazovytska@gmail.com.