

UDC 627.26:624.131

Yurii Ischenko, PhD student, Head of the Department
ORCID: 0000-0001-6046-8180, *e-mail*: ischenko@ndibk.gov.ua

State Enterprise "SE Research Institute of Building Constructions", Kyiv, Ukraine

GEOTECHNICAL MONITORING DURING RECONSTRUCTION OF THE POSHTOVA SQUARE IN KYIV

Abstract. *In recent years, there has been a sharp increase in public and scientific attention to environmental monitoring. This is due to the increase of man-made load on the environment and, first and foremost, the geological environment, as well as the need for new, higher organizational and technical level to solve the problems related to its changes. Recent monitoring data indicate a tendency to intensify this negative natural-technogenic process on a spatial-temporal scale and increase, first of all, the areas of flooding, as well as subsidence, landslides and other dangerous phenomena. Accordingly, during the operation of buildings, under the influence of the above factors, the corresponding new stress-strain state of the system "base-foundation-upper structure" changes and forms. In many cases, this leads to damage to building structures, emergencies and a significant decrease in the reliability of buildings. Today in Ukraine 10 962 dwellings are in a state of disrepair. The example of geotechnical monitoring in the town Kyiv is presented in the article. The specially developed monitoring program included: geodetic control of deformations of buildings of the surrounding building and structures of the reconstructed building; systematic observation of deformations of structures in the process of excavation of the pit and construction, with the installation of inclinometric sensors, deformation beacons and geodetic marks; observation of groundwater level fluctuations during construction; observation of the state of deformation beacons installed on the cracks of buildings of surrounding buildings; engineering-geological monitoring to ensure confirmation of the physical and mechanical characteristics of the soil of the bearing (support) layer of pile foundations and piles of reinforcement. Geotechnical monitoring made it possible to preserve the existing historical buildings in the area of influence of the geotechnical works on the Poshtova Square reconstruction in Kiev, to eliminate the risk of emergencies.*

Keywords: *geotechnical monitoring; design and field data; soil wall; numerical modeling*

Ю.І. Іщенко

Державне підприємство «ДП Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

ГЕОТЕХНІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОШТОВОЇ ПЛОЩІ В М. КИЄВІ

Анотація. *В останні роки різко зросла увага громадськості та наукових установ до проблеми моніторингу навколишнього середовища. Це пов'язано зі збільшенням з кожним роком техногенного навантаження людини на довкілля і, в першу чергу, на геологічне середовище, а також необхідністю на новому, більш високому організаційному і технічному рівні, вирішувати завдання, пов'язані з його змінами. Останні дані моніторингових*

спостережень свідчать про тенденцію до активізації цього негативного природно-техногенного процесу в просторово-тимчасовому масштабі і збільшення, в першу чергу, площ підтоплення, а також просідання, зсувних та інших небезпечних явищ. Відповідно в процесі експлуатації будівель, під впливом вищевказаних чинників, змінюється і формується відповідний новий напружено-деформований стан системи «основа – фундамент – верхня споруда». У багатьох випадках це призводить до пошкодження будівельних конструкцій, виникнення аварійних ситуацій і істотного зниження надійності будівель. На сьогодні в Україні 10 962 житлових будинки перебувають в аварійному стані. В статті наведено приклад геотехнічного моніторингу в м. Києві. Спеціально розроблена програма моніторингу включала: геодезичний контроль деформацій будівель навколишньої забудови і конструкцій будівлі, що реконструюється; системні спостереження за деформаціями конструкцій в процесі відкопування котловану і будівництва, з установкою інклінометричних датчиків, деформаційних маяків і геодезичних марок; спостереження за коливанням рівня ґрунтових вод при будівництві; спостереження за станом деформаційних маяків, встановлених на тріщинах будинків навколишньої забудови; інженерно-геологічний моніторинг із забезпеченням підтвердження фізико-механічних характеристик ґрунтів несучого (опорного) шару пальових фундаментів і паль підсилення. Геотехнічний моніторинг дозволив забезпечити збереження існуючої історичної забудови в зоні впливу будівельних робіт при реконструкції Поштової площі в м. Києві, виключити ризик виникнення аварійних ситуацій.

Ключові слова: геотехнічний моніторинг; проектні та натурні дані; чисельне моделювання

Вступ

Ґрунтові конструкції відносяться до числа найдавніших, і ґрунт є найбільш використовуваним будівельним матеріалом. Однак аж до середини минулого століття проектування базувалося переважно на накопиченому досвіді, а найбільш важливу роль при проектуванні споруд відігравали будівельні технології. У міру зростання потреб у великих дамбах, високих дорожніх насипах, що споруджуються з опорою на морське дно, і, особливо, в інженерних спорудах для захисту навколишнього середовища стало переважати реальне проектування. Тому в даній статті основну увагу приділено геотехнічному моніторингу відповідно до Європейського Коду 7, де особливо підкреслюється важливість аналізу геотехнічних даних, що використовуються для проектування [1]. Це визначається тим фактом, що нескельні і скельні ґрунти створені природою, а не людиною. Природні властивості ґрунтів завжди складні, що тягне за собою підвищений ризик на стадіях проектування і будівництва. Перш за все, це відноситься до складності геотехнічних досліджень, проектування і контролю, що впливає на величину геотехнічного ризику.

Основна відмінність між ґрунтовими та іншими геотехнічними конструкціями пов'язана з етапом контролю. Для фундаментних конструкцій під час моніторингу контролюють якість поверхні підстиляючого ґрунту, і відхилення від очікуваних значень в фізико-механічних характеристиках (ФМХ) (стосовно геологічної моделі та частково – геотехнічної) може призвести до відповідних змін у проекті. Аналогічно треба застосовувати

моніторинг до підземних конструкцій і котлованів, оскільки при виїмці ґрунту геологічна модель перевіряється на відповідність фактичним даним.

Найбільш складна проблема пов'язана з контролем і моніторингом ФМХ ущільненого ґрунту. У більшості випадків контроль є непрямим, оскільки зазвичай контролюють лише щільність сухого матеріалу і вміст вологи (і порівнюють з рекомендованими значеннями за результатами ущільнення за методом Проктора) [1]. Новий безперервний контроль (моніторинг) ущільнення є певним кроком вперед в цьому напрямку – див., наприклад, роботу Brandl, Kopf and Adam (2005) [1]. Незважаючи на це, проєктувальник не може безпосередньо контролювати фізико-механічні властивості, які були враховані при проєктуванні в розрахунковій моделі. Тому можна зробити простий висновок про те, що ризик, пов'язаний з проєктуванням і функціональністю ґрунтової конструкції, є одним з найвищих [1]. Поглиблення наукового розуміння ґрунтових відмов зможуть забезпечити уточнене картографування зсувонебезпечних зон та оцінка їх руйнівного потенціалу. Ця інформація повинна бути надана у виразній формі та масштабі, що сприятиме прийняттю рішень. Першим етапом автоматизованого дослідження ґрунтових відмов стали різноманітні системи моніторингу, які, переважно, виконували роль збору інформації про досліджуваний об'єкт або явище.

Термін «моніторинг» походить від англійського дієслова "to monitor" (контролювати, перевіряти) або французького "monitore" (круговий огляд, показчик). У різних видах наукової і практичної діяльності людини здавна застосовується метод спостереження – спосіб пізнання, заснований на відносно тривалому, цілеспрямованому і планомірному сприйнятті предметів і явищ навколишньої діяльності. Блискучі зразки організації спостережень за природою описані ще в першому столітті н.е. в «Природній історії Гая Секунда Плінія (старшого)». 37 томів, що містять відомості з астрономії, фізики, географії, зоології і т.п., слугували найбільш повною енциклопедією до епохи середньовіччя [2]. Існує безліч визначень систем моніторингу в різних областях науки і техніки, наведемо визначення згідно з документом FIB [3]: «Моніторинг – це часто повторювані або безперервні планові довгострокові спостереження або вимірювання будівельних умов або дій».

Історичним початком моніторингу навколишнього середовища можна вважати організацію на вугільних шахтах Англії та Бельгії понад 100 років тому спостережень за рівнем вмісту окису вуглецю в повітрі. При цьому в якості своєрідних датчиків використовувалися канарки, морські свинки і таргани [2]. У ХХ столітті на основі сучасної інформаційно-аналітичної бази і впровадження ЕОМ у всі галузі науки і техніки системи моніторингу поширилися повсюдно [4].

Згідно з визначенням Міжнародної Стратегії щодо зменшення екологічних лих ООН (Міжнародна стратегія по зменшенню небезпеки лих ООН, UNISDR 2009): **«Система раннього попередження EWS визначається як сукупність можливостей, необхідних для вироблення і поширення своєчасної і важливої інформації оповіщення, щоб дати можливість населенню, громадам і організаціям, яким загрожує небезпека, завчасно підготуватися і вжити необхідних заходів для зниження ймовірності збитку і втрат»** [5].

Це загальне визначення, яке може бути застосовано до будь-якої небезпеки і не містить прямого посилання на зсуви. Незалежно від визначення і

небезпеки, що розглядається, EWS використовуються для зниження ризику, впливаючи на зменшення впливу на елементи різних систем, що піддаються ризику. Основна концепція EWS, встановлених на зсувах, полягає в тому, щоб елементи, які піддаються ризику, особливо люди, що знаходяться недалеко від небезпечної зони, мали достатньо часу для евакуації в разі очікування неминучого колапсу.

Необхідність моніторингу прописана в низці вітчизняних нормативних документів, наприклад розділ 7 ДБН В.1.1-3-97 "Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів и обвалів. Основні положення" [6] вимагає здійснювати постійне спостереження за станом зсувних та зсувонебезпечних територій, у тому числі:

- ◆ інструментальні спостереження за вертикальними і горизонтальними зміщеннями поверхні схилів, а також регулярні огляди і періодичні обстеження будівель, споруд, інженерних та транспортних комунікацій, що розміщені на схилах і на відстані до 200 м від краю схилу;

- ◆ спостереження за напружено-деформованим станом конструкцій будівель і споруд;

- ◆ спостереження за зміщеннями по горизонталі в рівнях поверхонь ковзання на зсувних схилах;

- ◆ спостереження за рівнем і хімічним складом підземних вод;

- ◆ спостереження за величинами зсувного тиску.

В статті [7] сформульовано новий науковий напрямок в дослідженні ґрунтових (зсувних) небезпек – **«Інтегрована методологія для систем раннього попередження ґрунтових (зсувних) небезпек»**, яка гармонійно об'єднує експериментальні моніторингові дослідження зсувонебезпечних ділянок із застосуванням сучасних датчиків та приладів, що працюють в on-line режимі, з всеосяжним математичним моделюванням напружено-деформованого стану ґрунтового масиву в межах динамічного сценарного аналізу вірогідних подій. Детальний опис **«Інтегрованої методології ...»** ми тут наводити не будемо у зв'язку з обмеженістю об'єму статті, для детального ознайомлення див. [7].

Основна частина

За останні 10–15 років в Україні була приділена увага як нормативно-методичному забезпеченню, так і практичній реалізації моніторингових систем в будівництві. За цей час був розроблений ряд нормативних документів, в яких в тій чи іншій мірі відображені питання моніторингу:

1. ДБН В.1.2-5:2007 "Науково-технічний супровід будівельних об'єктів" [8].

2. ДБН В.1.2-12-2008 "Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки" [9].

3. ДБН В.1.2-14-2009 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд будівельних конструкцій та основ" [10].

Згідно з діючими нормативними документами при проектуванні, будівництві та експлуатації будівель і споруд повинен здійснюватися їх науково-технічний супровід [8–9]. Одним з основних видів робіт при науково-технічному супроводі будівельного об'єкта є **моніторинг його технічного стану**. Для забезпечення

безпечної експлуатації будівель і споруд необхідна поточна інформація про деформації і напруження, що виникають в будівельних конструкціях. Об'єкти класу наслідків (відповідальності) ССЗ, руйнування яких може призвести до катастрофічних наслідків, необхідно додатково обладнати **автоматизованими** системами моніторингу та управління [10].

Теоретичне обґрунтування концепції моніторингу базується на необхідності створення комплексної системи збору, накопичення, обробки та використання інформації, яка повинна розкривати специфіку НДС як окремих будівельних конструкцій, так і споруд в цілому за допомогою відповідних показників датчиків, контрольно-вимірювальних приладів та ін., що накопичуються у вигляді бази даних в автоматичному режимі.

У своїй роботі система моніторингу будівельних конструкцій спирається на застосування:

- процедур послідовного аналізу при виборі критеріїв діагностики;
- засобів технічного діагностування та методів обробки отриманої інформації;
- еталонних апроксимаційних моделей для тестування системи моніторингу методом порівняння в режимі реального часу (on-line);
- багаторівневості виконуваних функцій і засобів моніторингових досліджень;
- концентрації діагностичної інформації у вигляді відповідної бази даних.

За останні роки в Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) було приділено велику увагу як нормативно-методичному забезпеченню, так і практичній реалізації моніторингових систем. Все це слугувало основою для нового підсумкового нормативного документу ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд» [11]. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 розроблено у розвиток комплексу стандартів на системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Цей документ увібрав в себе всі основні методичні вказівки та розробки з науково-методологічного обґрунтування, проектування та експериментального відпрацювання моніторингових систем в будівництві [8–10].

Теоретико-методологічні питання проектування і організації моніторингових досліджень досить глибоко проаналізовано в роботах сучасних українських вчених: О.М. Трофимчука, Ю.І. Калюха, а також в численних дослідженнях їх учнів [12–20].

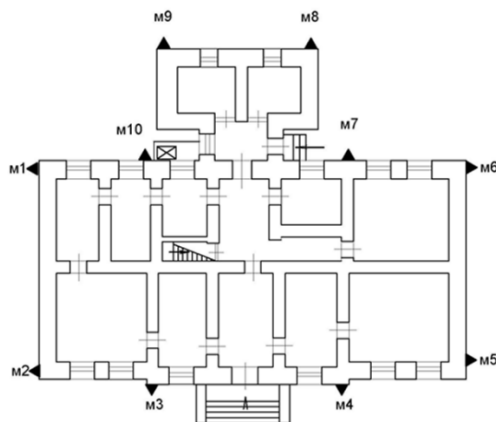
Геотехнічний моніторинг в м. Києві

ДП «НДІБК» виконані науково-технічні роботи щодо забезпечення безпеки технічних рішень на низці об'єктів. До таких об'єктів слід віднести будівлі, що межують із ділянкою реконструкції транспортної розв'язки на Поштовій площі в Подільському районі м. Києва. Необхідність робіт обумовлена потребою оцінки впливу будівництва на прилеглі будівлі. Для виконання цих робіт 2 квітня 2015 року на прилеглих будівлях, за якими проводяться спостереження, була встановлена спостережна станція, взятий нульовий відлік та розпочатий геотехнічний моніторинг у вигляді його окремого випадку – геодезичного моніторингу.

Мета моніторингу: визначення величин та характеру осідань фундаментів будівель, що межують з будівельним майданчиком; визначення величин та характеру розвитку тріщин в конструкціях будівель, що межують з будівельним майданчиком; визначення величин та напрямків горизонтальних переміщень ростверку огороження котловану.

Моніторингові дослідження інженерно-геодезичних спостережень проводились протягом тридцяти двох місяців (квітень 2015...листопад 2017 р.). Порядок, організація та забезпечення робіт під час виконання інструментальних вимірів здійснювались відповідно до вимог чинних нормативних документів [6, 21–29].

Пам'ятка архітектури «Поштовий будинок» на Поштовій площі, 2 (рис. 1): одноповерхова будівля, в плані має Т-подібну форму з розмірами $\approx 21,60 \times 17,60$ м. За конструктивною схемою – безкаркасна будівля з поздовжніми



Умовні позначення:
▼ - осадова марка;
m3 - номер осадової марки

Рис. 1 – Головний фасад «Поштового будинку» на Поштовій площі, 2 та схема розташування осадових марок, встановлених на будівлі музею

та поперечними несучими стінами. Фундаменти – стрічкові, мілкового закладення, підсилені бурон'єкційними палями. Стіни – цегляні. Зовнішні стіни товщиною 100 см, внутрішні – товщиною 70 см. Переkritтя підвалу залізобетонне, переkritтя над першим поверхом підшите деревиною, оштукатурене. Покрівля багатоскатна, з оцинкованого заліза по дерев'яним кроквам.

Організація спостережень за деформаціями фундаментів будівель на Поштової площі виконувалась в такій послідовності: вибір конструкції, місць розташування та установки вихідних геодезичних знаків висотної основи; здійснення висотної прив'язки вихідних геодезичних знаків; встановлення осадкових марок на конструкціях будівлі, за якою ведуться спостереження; інструментальні вимірювання вертикальних переміщень осадкових марок; опрацювання і аналіз результатів спостережень. При виконанні спостережень за осіданням фундаментів будівель влаштовується не менше трьох вихідних реперів для забезпечення взаємного контролю стійкості їх відміток. Висотні положення реперів були визначені з мінімально можливою граничною помилкою. Для визначення величин осадок будівель були використані металеві осадкові марки з кулеподібною голівкою. Довжина марок, які використовуються, повинна забезпечувати необхідну жорсткість в залежності від вильоту марки з площини стіни. Виліт марки повинен забезпечувати встановлення рейки строго у вертикальному положенні за показниками інтегрованого рідинного рівня. Усього на будівлях, що межують із ділянкою реконструкції транспортної розв'язки на Поштової площі, закладено 49 осадкових марок. Вимірювання вертикальних переміщень фундаментів будівель здійснювались методом геометричного нівелювання II класу точності у відповідності до вимог чинних нормативних документів [21–29]. Для виконання вимірювань осідань фундаментів будівель використовувався високоточний цифровий нівелір SDL 30 виробництва фірми «Sokkia» та кодова рейка з інварною стрічкою. Нівелювання марок виконувалось за наміченими в проєкті ходами, щоразу за однією й тією ж схемою, щоб значною мірою позбутися впливу систематичних похибок на заміряні величини. Перед кожним циклом спостережень особлива увага зверталась на перевірку основної геометричної умови нівеліра: візирна вісь і вісь циліндричного рівня повинні бути паралельні.

Спостереження за розкриттям тріщин виконувалось з використанням різних вимірювальних пристроїв, які дають змогу одержати як якісні, так і кількісні показники розвитку тріщин. Спостережна станція являє собою визначену кількість спостережних пар марок із кольорового металу (рис. 2), установлених на конструкціях будівлі (кожна з пари марок по обидва боки тріщин), а також переносний прилад (компаратор) для зняття показань величин деформацій. Для зняття відліків використано вимірювач деформацій «SDM 50/500» (компаратор). Прилад оснащений індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Межа вимірів змін ширини розкриття тріщин — до 10 мм. Комплект штанг на приладі дає змогу проводити виміри розкриття тріщин на базі 50, 100, 200, 300, 400 та 500 мм. Закріплена на базі змінна ніжка служить для фіксації вибраної довжини. Обидві ніжки знизу мають кулеподібну поверхню. Вони контактують з конічними заглибленнями (гніздами) на спостережних марках, установлених по обидва боки від тріщини.

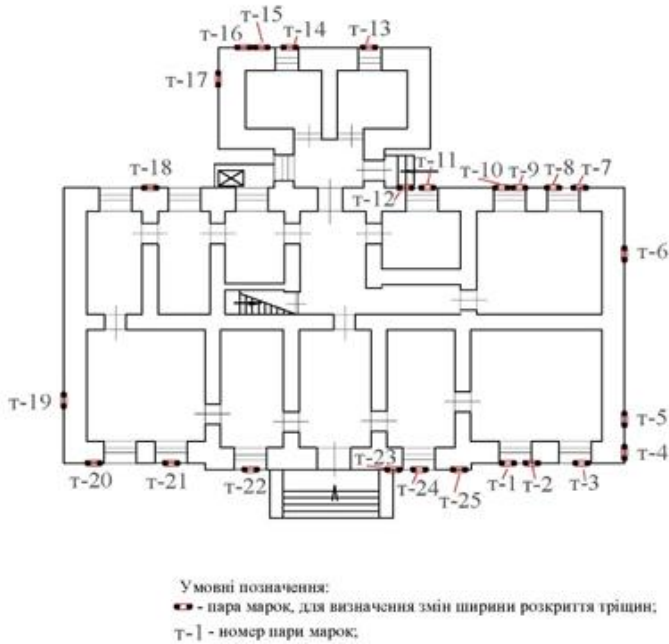


Рис. 2 – Схема розташування пар марок із визначення змін ширини розкриття тріщин в конструкціях будівлі музею на Поштової площі, 2

Результати виконаних робіт та їх аналіз. За період інструментальних спостережень з 02 квітня 2015 року по 14 листопада 2017 року (957 днів) виконано 45 циклів визначення деформацій будівель, що межують із ділянкою реконструкції транспортної розв'язки на Поштової площі в м. Києві, а саме: будівлі № 2 на Набережному шосе, будівель №№ 2 та 4 на Поштової площі, будівлі № 3/17 на Володимирському узвозі. З них 44 цикли виконано в 2015 році, і один – контрольний цикл – в 2017 році. Визначення планових зміщень ростверків огороження котловану не виконувалося, оскільки було прийняте рішення перейти від розпірної системи утримуючих споруд до системи «up down» і закладена в ростверку спостережна станція була накрита плитою перекриття.

По будівлі № 2 на Поштової площі (пам'ятка архітектури «Поштовий будинок»):

- зафіксовано вертикальні переміщення осадових марок величиною від -2 до -4 мм.

- станом на 26.06.2015 року було зафіксовано незначні (від -0,17 мм до +0,07 мм) зміни ширини розкриття. Детально результати спостережень змін в часі ширини розкриття тріщин в конструкціях будівлі наведені на рис. 3.

Висновки

1. Ризик, пов'язаний з проектуванням і функціональністю ґрунтових конструкцій, є одним з найвищих [1]. Це підкреслює необхідність розрахунку і зниження такого ризику за допомогою наявних методів, одним з яких може бути геотехнічний моніторинг, що здійснюється на безперервній або періодичній основі під час будівництва і протягом деякого часу після його закінчення.

2. Для забезпечення безпечної експлуатації будівель і споруд необхідна поточна інформація про деформації і напруження, що виникають в будівельних конструкціях. Об'єкти класу наслідків (відповідальності) ССЗ, руйнування яких може призвести до катастрофічних наслідків, повинні бути обладнані автоматизованими системами моніторингу та управління [10].

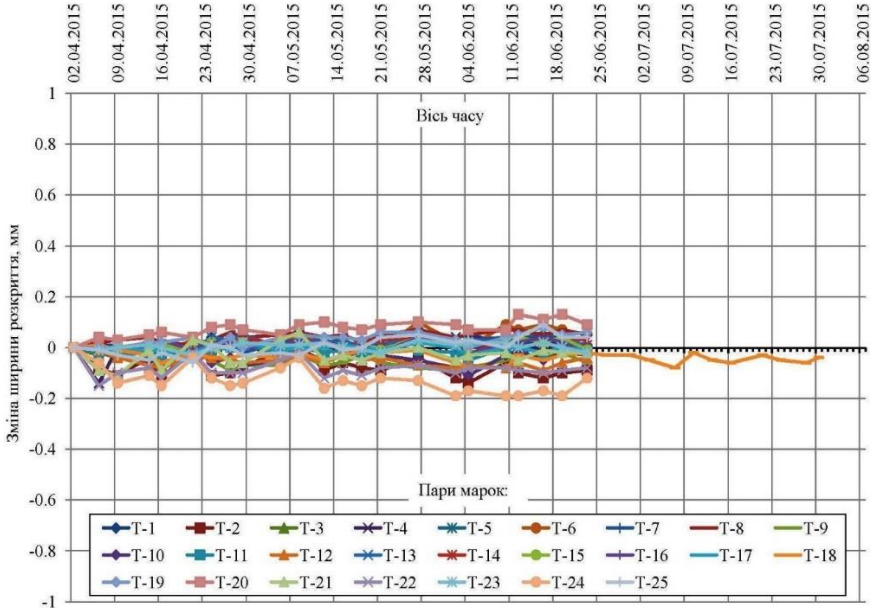


Рис. 3 – Графік змін в часі ширини розкриття тріщин в конструкціях будівлі № 2 на Поштовій площі

3. По будівлі № 2 на Поштовій площі (пам'ятка архітектури «Поштовий будинок») зафіксовано незначні (від 2 до 4 мм за абсолютним значенням) осідання фундаментів будівлі. Згідно з таблицею 4 ВСН 490-87 [29] гранично допустимі деформації основ фундаментів (осідання) становлять 10 мм. Зафіксовані за період спостережень (957 днів) осідання величиною до 3 мм не перевищують гранично допустимих, від впливу нового будівництва. Слід зазначити, що в 2015 році конструкції та фундаменти будівлі було підсилено. Станом на 26.06.2015 року було зафіксовано незначні (від -0,17 мм до +0,07 мм) розкриття тріщин в конструкціях будівлі, що не перевищують (незначно перевищують) величину $\pm 0,20$ мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ваничек І. Применение Еврокода 7 к грунтовым конструкциям // Світ геотехніки. – № 4, 2016. – С. 4–8.
2. Долина Л.Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. – Д.: Континент L., 2002 – Ч.1. Основы мониторинга. – 208 с.
3. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures. State of art report by Task Group 5.1. – International Federation for Structural Concrete (fib), 2003 – 300 p.
4. Титаренко О.М., Калюх Ю.І. Можливості інформаційно-аналітичного моніторингу у встановленні суспільного діалогу малих підприємців з владою на місцевому рівні // Управління сучасним містом. – 2002. – № 7-9 (7). – С. 136–139.

5. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (2009) Terminology on Disaster Risk Reduction. Available at: <http://www.unisdr.org>.
6. ДБН В.1.1-3-97 “Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів і обвалів. Основні положення”.
7. Калюх Ю.І., Іщенко Ю.І. Теоретична концепція та практична реалізація нової інтегрованої методології систем раннього попередження про зсувну небезпеку // Наука та будівництво. – 2020, № 1. – С. 5-17.
8. ДБН В.1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об’єктів» – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 14 с.
9. ДБН В.1.2-12-2008 «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки» – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 34 с.
10. ДБН В.1.2-14-2009 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований» – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 14 с.
11. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд: ДСТУ-Н В.1.2-17:2016 / К. Бабік, Ю. Калюх, М. Мар’єнков ... Я. Берчун та ін. // [Чинні від 01 квітня 2017 року]. – К. : Мінрегіонбуд, 2017. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).
12. Сеймов В.М. Динамика и сейсмостойкость гидротехнических сооружений / В.М. Сеймов, Б.Н. Островерх, А.И. Ермоленко. – К. : Наук. думка, 1983. – 318 с.
13. Трофимчук А.Н., Черный В.Г., Черный Г.И. Надежность систем сооружение-грунтовое основание в сложных инженерно-геологических условиях / А.Н. Трофимчук, В.Г. Черный, Г.И. Черный. – К.: Полиграфконсалтинг. – 2006. – 248 с.
14. Kaliukh, I., Senatorov, V., Marienkov, N., Trofymchuk, O., Silchenko, K., Kalyukh, T. (2015). Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development - Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE*. 3, 955-959.
15. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., Klymenkov, O. (2017). TXT-tool 2.380-1.1. Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Volume 1. Springer, Cham., 491-508.
16. O.M. Trofymchuk, I.I. Kaliukh, H.S. Hlebuchuk, V.P. Berchun (2013) Experimental and analytical studies of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts. *Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides*, Kiryu, Japan. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 883-890.
17. Trofymchuk, O., Kaliukh, Y., Dunin, V., Berchun, Y. (2018). On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. *Cybernetics and Systems Analysis*. 54, 600–609. DOI: [10.1007/s10559-018-0061-9](https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9)
18. Trofymchuk O., Kaliukh I. (2013) Activation of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts (experimental and analytical studies). *Journal of Environmental Science and Engineering*. 2(2): 68-76.
19. Trofymchuk O., Kaliukh I., Berchun V. (2017) Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from Autonomous Republic of Crimea. *Proceedings of the WLF4*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 587-595.
20. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Polevetskiy, V., Silchenko, K., Kaliukh, T., Khavkin, K. (2013) Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforced-concrete constructions for defense from landslide’s pressure in seismic regions of Ukraine. *Proceedings of the Fib Symposium*. 22-24 April 2013, Tel-Aviv, Israel. pp. 625-628.
21. ДБН В.2.1-10-2009 «Основи та фундаменти споруд». – К: 2009.
22. ДБН А.2.1-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва». – К: 2008.
23. ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві». – К: 2010.
24. Руководство по наблюдению за деформациями зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1975.

25. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М., Недра. 1990.
26. Методические указания по созданию геодезических сетей, М., Недра. 1995.
27. ДБН А.3.1.-5:96 “Організація будівельного виробництва”.
28. Долидзе Д.Е. «Испытание конструкций и сооружений» – М., Высш. шк., 1975. – 252 с.
29. ВСН 490-87 «Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки». – М: 1988.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2020 і прийнята до друку після рецензування 05.06.2020

REFERENCES

1. Vanychek, I. (2016). Prymenenye Evrokoda 7 k hruntovym konstruktsiyam [Application of Eurocode 7 to soil structures]. *Svit heotekhniki*, 4, 4-8. (in Russian)
2. Dolina, L.F. (2002). *Monitoring okruzhajushhej sredy i inzhenernye metody ohrany biosfery. (Ch.1. Osnovy monitoringa) [Environmental monitoring and engineering methods for protecting the biosphere. Part 1. Monitoring Basics]*. D.: Kontinent L. (in Russian)
3. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures. (2003). State of art report by Task Group 5.1. International Federation for Structural Concrete (FIB).
4. Tytarenko, O.M., & Kaliukh, Yu.I. (2002). *Mozhlyvosti informatsiino-analitychnoho monitorynhu u vstanovlenni suspilnoho dialohu malykh pidprijemstiv z vladoiu na mistsevomu rivni [Possibilities of information-analytical monitoring in establishing public dialogue of small entrepreneurs with the authorities at the local level]*. *Upravlinnia suchasnym mistom*, 7-9 (7), 136-139. (in Ukrainian)
5. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Terminology on Disaster Risk Reduction. (2009). Retrieved from: <http://www.unisdr.org>.
6. DBN V.1.1-3-97 “Inzhenernyi zakhyst terytorii, budivel i sporud vid zsuviv i obvaliv. Osnovni polozhennia”. (1997). (in Ukrainian)
7. Kaliukh, Yu.I., & Ishchenko, Yu.I. (2020). *Teoretychna kontseptsiiia ta praktychna realizatsiia novoi intehrovanoi metodolohii system rannoho poperedzhennia pro zsvnu nebezpeku [Theoretical concept and practical implementation of a new integrated methodology of early warning systems for landslides]*. *Nauka ta budivnytstvo*, 1, 5-17. (in Ukrainian)
8. DBN V.1.2-5:2007 «Naukovo-tekhnichnyi suprovid budivelnykh ob'ektiv». (2007). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
9. DBN V.1.2-12-2008 «Budivnytstvo v umovakh ushchilненоi zabudovy. Vymohy bezpeky». (2008). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
10. DBN V.1.2-14-2009 «Obshhie principy obespechenija nadezhnosti i konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy, sooruzhenij stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij». (2009). K.: Ukrbudarkhinform. (in Russian)
11. Babik, K., Kaliukh, Yu., Mar'ienkov, M., Berchun, Ya. at al. (2017, April 1). *Nastanova shchodo naukovo-tekhnichnoho monitorynhu budivel i sporud: DSTU-N B V.1.2-17:2016 (Derzhavni budivelni normy Ukrainy)*. K.: Minrehionbud. (in Ukrainian)
12. Sejmov, V.M., Ostroverh, B.N., & Ermolenko, A.I. (1983). *Dinamika i sejsmostojkost' gidrotehnicheskikh sooruzhenij [Dynamics and seismic resistance of hydraulic structures]*. K.: Nauk. dumka. (in Russian)
13. Trofimchuk, A.N., Chernyj, V.G., & Chernyj, G.I. (2006). *Nadezhnost' sistem sooruzhenie-gruntovoe osnovanie v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh uslovijah [Reliability of construction-soil foundation systems in complex engineering and geological conditions]*. K.: Poligrafkonsalting. (in Russian)

14. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Klymenkov, O. (2017). TXT-tool 2.380-1.1. Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Volume 1. Springer, Cham., 491-508.
15. Trofymchuk, O.M., Kaliukh, I.I., Hlebchuk, H.S., & Berchun, V.P. (2013). Experimental and analytical studies of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts. In *Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides*, Kiryu, Japan, 2013. (pp. 883-890). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
16. Trofymchuk, O., Kaliukh, Y., Dunin, V., & Berchun, Y. (2018). On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. *Cybernetics and Systems Analysis*. 54, 600–609. DOI: [10.1007/s10559-018-0061-9](https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9)
17. Trofymchuk, O., & Kaliukh, I. (2013). Activation of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts (experimental and analytical studies). *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2(2), 68-76.
18. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Berchun, V. (2017). Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from Autonomous Republic of Crimea. In *Proceedings of the WLF4* (pp. 587-595). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
19. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Polevetskiy, V., Silchenko, K., Kaliukh, T., & Khavkin, K. (2013). Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforced-concrete constructions for defense from landslide's pressure in seismic regions of Ukraine. In *Proceedings of the Fib Symposium*, Tel-Aviv, April 22-24, 2013. (pp. 625-628).
20. Kaliukh, I., Senatorov, V., Marienkov, N., Trofymchuk, O., Silchenko, K., & Kaliukh, T. (2015). Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. In *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE*. 3. (pp. 955-959).
21. DBN V.2.1-10-2009 «Osnovy ta fundamenty sporud». (2009). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
22. DBN A.2.1-1-2008 «Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva». (2008). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
23. DBN V.1.3-2:2010 «Heodezychni roboty u budivnytstvi». (2010). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
24. Rukovodstvo po nabljudeniju za deformacijami zdaniy i sooruzhenij. (1975). M.: Strojizdat. (in Russian)
25. Instrukcija po nivelirovaniju I, II, III, IV klassov. (1990). M.: Nedra. (in Russian)
26. Metodicheskie ukazaniya po sozdaniyu geodezicheskikh setej. (1995). M.: Nedra. (in Russian)
27. DBN A.3.1.-5:96 «Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva». (1996). (in Ukrainian)
28. Dolidze, D.E. (1975). *Ispytanie konstrukcij i sooruzhenij [Testing of structures and structures]*. M.: Vyssh. shk. (in Russian)
29. VSN 490-87 «Proektirovanie i ustrojstvo svajnyh fundamentov i shpuntovyh ograzhdenij v uslovijah rekonstrukcii promyslennyh predpriyatij i gorodskoj zastrojki». (1988). Moskow. (in Russian)

The article was received 02.04.2020 and was accepted after revision 05.06.2020

Ищенко Юрий Иванович

здобувач, завідувач лабораторії державного підприємства «ДП Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, вул. Преображенська, 5/2

ORCID: 0000-0001-6046-8180 **e-mail:** ischenko@ndibk.gov.ua