



Doi:

УДК 627.26:624.131



СЛЮСАРЕНКО Ю. С.

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник, заступник директора Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна
e-mail: slus@ndibk.gov.ua
тел. +38(044)249-72-40
ORCID: 0000-0002-0447-3927



ДВОРНИК А.М.

Завідуючий лабораторією Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна
e-mail: dvornyka@gmail.com
тел.: +38 (050) 415-36-29
ORCID: 0000-0003-0266-8429



КАЛЮХ Ю. І.

Д-р техн. наук, професор, провідний науковий співробітник, Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна
тел. +38(044)249-38-80
e-mail: kalyukh2002@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7240-4934

ГІБРИДНА КОНЦЕПЦІЯ ІoT, DSS ТА DW В ГЕОТЕХНІЦІ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В УМОВАХ УЩІЛЬНЕНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ¹

АНОТАЦІЯ

Запропоновано гібридну теоретико-методологічну концепцію Інтернету речей - IoT (Internet of Things), системи підтримки прийняття рішень – DSS (Decision Support System) та сховищі даних - DW (Data Warehouse) в геотехніці. Її застосування сприятиме поглибленню наукового розуміння еволюції напружено-деформованого стану основ будівель та споруд шляхом отримання первісної інформації про поточний стан ґрунтів основи, будівельних конструкцій за допомогою хмарних технологій Інтернету речей - IoT (Internet of Things) у поєднанні з високочутливими сенсорами. Забезпечить уточнене картографування зон небезпеки (осадок, зсувів та ін.), що дозволить на наступних етапах оцінити їх руйнівний потенціал за допомогою системи підтримки прийняття рішень – DSS (Decision Support System). Первісна інформація від IoT

буде накопичуватися у сховищі даних - DW (Data Warehouse), що полегшить її цифрове використання у якості вхідних даних DSS. На першому етапі виявлення ґрунтових відмов існують системи моніторингу, які в основному діяли як збір інформації про досліджуваний об'єкт чи явище на базі IoT. Теоретичне обґрунтування концепції DIS для умов ущільненої міської забудови та динамічних впливів базується на необхідності створення складної системи збору, накопичення, обробки та використання інформації у цифровому вигляді. Система повинна розкривати специфіку напружено-деформованого стану конструкцій та фундаментної частини будівлі, прилеглої території та досліджуваної будівлі в цілому за допомогою відповідних показників від прецензійних сенсорів або контрольно-вимірювальних приладів тощо, з'єднаних за допомогою IoT. Отримана інформація

¹ IoT – Internet of Things (інтернет речей); DSS - Decision Support System (системи підтримки прийняття рішень); DW - Data Warehouse (сховище даних).



повинна автоматично накопичуватися в DW у формі бази даних. На наступному етапі ці дані слугуватимуть основою для розробки різних сценаріїв управлінських рішень із використанням DSS.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Система прийняття рішень, гібридна концепція, ущільнена міська забудова, датчик вібрації, аналого-цифровий перетворювач

HYBRID CONCEPT OF IoT, DSS AND DW IN GEOTECHNICS AND ITS APPLICATION IN THE RESTRAINED URBAN CONDITIONS

ABSTRACT

A hybrid theoretical and methodological concept of the Internet of Things IoT, decision support systems DSS and data storage DW i.e. Data Warehouse in geotechnics is proposed. Its application will help deepen the scientific understanding of development of stress-strain state in foundations of buildings and structures and obtain reference information on current state of foundation soils and engineering structures using cloud technologies of the Internet of Things or IoT in combination with highly sensitive sensors. The concept provides for an accurate mapping of danger zones (sediment, landslides, etc.), which, in the next stages, enables to assess destructive potential of those using a decision support system DSS. Reference information from the IoT will be stored in the data warehouse DW (Data Warehouse), which will facilitate digital use as input DSS. At the first stage of detection of soil failures, there will be monitoring systems, which will mainly act as a collection of information about the studied object or phenomenon on the IoT basis. The theoretical substantiation of the DIS concept for the restrained urban conditions and dynamic impacts is based on the need to create a complex system of collection, accumulation, processing and use of information in digital form. The system should reveal the details of stress-strain state of structures and foundation of building, surrounding area and the building as a whole with help of appropriate indicators from precision sensors or measuring instruments, etc., connected by IoT. The information obtained should be automatically accumulated in the DW in the form of a database. In the next step, this data will serve as a basis for development of various management scenarios using DSS.

KEYWORDS: Decision making system, hybrid concept, restrained urban conditions, vibration detector, analog-to-digital transducer

ПЕРЕДВСТУП

Активне освоєння підземного міського простору (будівництво паркінгів, метрополітенів та інших промислових і соціальних об'єктів під землею) порушує природний гідрогеологічний режим. Штучні перешкоди на шляху фільтрації ґрунтових вод викликає підтоплення, тобто підйом їх рівня.

У результаті, підвальні приміщення виявляються затопленими, прискорюється корозія бетонних конструкцій, скорочується термін служби будинків, в яких не забезпечуються санітарні норми їхньої експлуатації. Відповідно, в процесі експлуатації будівель під впливом вищевказаних чинників змінюється і формується відповідно новий напружено-деформований стан системи «основа-фундамент-верхня будова». У багатьох випадках це призводить до пошкодження будівельних конструкцій, виникнення аварійних ситуацій і істотного зниження надійності будівель. Сьогодні в Україні 10962 житлових будинки перебувають в аварійному стані.

У центрі Києва вибухнув черговий будівельний скандал пов'язаний з будівництвом в умовах щільної міської забудови ЖК «Елегант» по вул. Жилианська, 118 [1]. Все його будівництво пов'язане з численними конфліктами з місцевими жителями і катастрофами. Його тільки починали будувати, як на етапі забивання паль сусідній п'ятиповерховий будинок тріснув, мешканців довелося відселити. Потім Київрада відміняла рішення про землевідведення. Далі інспекція Держархбудконтролю визнала незаконність будівельних робіт. У підсумку по вул. Жилианській, 120-В знесли старовинний п'ятиповерховий особняк і одноповерхову будівлю поруч з ним. На цьому місці розрили величезну траншею. Мешканці прилеглих будинків бояться, що стіни їхніх будинків впадуть - на верхніх поверхах вже з'явилися тріщини [2]. Мешканців будинків №№ 3, 5, 5а, 7 по бул. Лесі Українки, та ще трьох будинків по вулиці Мечникова об'єднала одна проблема - забудова їхнього двору. І проблема не тільки в тому, що кияни не хочуть ущільнюватися. Проблема в тому, що їхні будинки збудовані на зсувонебезпечному схилі. «Сейсмічна» рівновага може порушена будь-яким втручанням будівельної техніки. Будинки з бул. Лесі Українки просто поповзуть на вулицю Мечникова (рис. 1) [3, 4]. Це буде трагедія гірше за Дніпровську, де зсув злизав висотну будівлю з лиця землі.

За адресою пер. Мар'яненка, 7, розкриття тріщин збігається за часом з початком риття котловану під житловий комплекс на вул. Мечникова, 9а, та вул. Мечникова, 11. Тут на технічний стан будинку вплинули відразу два будівництва - вул. Мечникова, 9а, 11 та на Кловському узвозі, 12а. В кінці листопада забудовник «Е.К. Сервіс» заявив, що буде обстежувати їх і проведе ремонт в постраждалих будинках по пер. Мар'яненка і по вул. Мечникова; а також замовить експертизу зсувонебезпечного схилу по вул. Мечникова [4, 5]. На основі аналізу наведеної інформації, численних прикладів нової забудови в м. Києві, виникла гостра необхідність приведення технічного стану існуючих будівель до рівня нових нормативних вимог, шляхом комплексного їх обсте-



Рисунок 1 - Просторовий вид на зсувонебезпечні ділянки з космосу з GOOGLE MAPS по бул. Лесі Українки та вул. Мечникова в м. Києві

ження і моніторингу, можливої реконструкції та підсилення для виключення ґрунтових аварій у майбутньому.

Професор Ванічек в роботі звертає увагу на те, що найбільш складна проблема пов'язана з контролем і моніторингом фізико-механічних властивостей (ФМВ) властивостей ущільненого ґрунту. У більшості випадків контроль є непрямим, оскільки зазвичай контролюють лише щільність сухого матеріалу і вміст вологи (і порівнюють з рекомендованими значеннями на підставі результатів ущільнення за методом Проктора) [6]. Новий безперервний контроль (моніторинг) процесу ущільнення є певним кроком вперед в цьому напрямку (див., наприклад, роботу Brandl, Kopf and Adam (2005) [6]). 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 ґрунтових конструкцій, є одним з найвищих [6]. Це зайвий раз підкреслює необхідність розрахунку і зниження такого ризику за допомогою наявних методів і засобів для додаткового контролю ФМВ ґрунту. Одним з таких методів може бути моніторинг, здійснюваний на безперервній, або періодичній основі під час будівництва і деякий час після його закінчення.

ВСТУП

Історичним початком моніторингу навколишнього середовища можна вважати організацію на вугільних шахтах Англії та Бельгії понад 100 років тому - спостережень за рівнем вмісту окису вуглеводню в повітрі. При цьому в якості своєрідних датчиків використовувалися канарки, морські

свинки і таргани [7]. Моніторинг, або система моніторингу, в найпростішому вигляді представляють собою системи реєстрації та накопичення інформації. Найстаршими з таких систем, мабуть, є історичні науки, які накопичують і аналізують історичні факти і події. У ХХ столітті на основі сучасної інформаційно-аналітичної бази і електронно-обчислювальних машин, у всіх областях науки і техніки, системи моніторингу поширилися повсюдно: в техніці [8], економіці, медицині і соціології, державному управлінні та ін. [9, 10].

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» [11].

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. Наприклад, 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 [12].

За останні роки у Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) було приділено достатньо уваги, як нормативно-методичному забезпеченню, так і практичній реалізації моніторингових систем. Співробітниками Інституту розроблено цілу низку нормативних документів, в яких відображені питання моніторингу [13-15]: ДБН В.1.2-5:2007 "Науково-технічний супровід будівельних об'єктів" [16]; ДБН В.1.2-12-2008 "Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки" [17]; ДБН В.1.2-14-2009 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд будівельних конструкцій та основ" [18].

Теоретичне обґрунтування концепції моніторингу базується на необхідності створення комплексної системи збору, накопичення, обробки та використання інформації, яка повинна розкривати специфіку напружено-деформаційного стану (НДС) як окремих будівельних конструкцій, так і споруд в цілому за допомогою відповідних



показників датчиків, контрольно-вимірювальних приладів і ін., що накопичуються у вигляді бази даних в автоматичному режимі.

Система моніторингу будівельних конструкцій спирається на застосування:

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

Під науковим керівництвом д.т.н., проф. Калюха Ю.І. (ДП НДІБК) та організаційним керівництвом к.т.н., с.н.с. Белова І.Д. (Київський національний університет будівництва і архітектури) розроблено нормативний документ ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд» [19] у розвиток комплексу стандартів на системи технічного діагностування будівельних конструкцій. В розділі 5 [19] - «Загальні положення» наведено загальну організаційну структуру моніторингу по забезпеченню експлуатаційної безпеки об'єктів будівництва, кількість і види контрольованих параметрів, план та результати моніторингу, та ін. В розділі 6 «Система деформаційного моніторингу. Загальні вимоги» наведені визначення, склад та етапи, загальні вимоги до автоматизованої системи деформаційного моніторингу та ін. В розділі 7 «Система вібраційного моніторингу. Загальні вимоги» наведено визначення, склад та етапи, загальні вимоги до динамічного паспорту об'єкту моніторингу та ін. В розділі 8 «Система геотехнічного моніторингу. Загальні вимоги» наведені визначення, склад та етапи, загальні вимоги до геотехнічного моніторингу та ін. В розділі 9 «Моніторинг природних об'єктів, будівель і споруд, що попадають в зону впливу будівельної діяльності» наведені визначення, склад та етапи, загальні вимоги до моніторингу в умовах можливого взаємного впливу нового будівництва та існуючої забудови, та ін. В розділі 10 «Моніторинг огорожувальних конструкцій» наведені визначення, склад та етапи, загальні вимоги до моніторингу огорожувальних конструкцій, ін. В додатках до ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 наведені довідкові дані, щодо складу проектування систем моніторингу, його структурну схему, форми паспортів (Додаток К [19]), що заповнюються при моніторингу,

форма висновку (поточного) по етапу моніторингу технічного стану об'єкту, проектування, розроблення і створення автоматизованих систем геодезичного моніторингу, та ін. В [19], як в і документі fib [8], класифікація моніторингових систем в будівництві однакова (див. рис. 2). Теоретико-методологічні питання проектування і організації моніторингових досліджень досить глибоко проаналізовано в роботах сучасних українських вчених: директора ДП НДІБК, д.т.н., проф., Фаренюка Г.Г., співробітників Інституту: Слюсаренко Ю.С., Калюха Ю.І. [20-23], а також в численних дослідженнях їх учнів: Полевецького В.В., Фаренюка Є.Г., Хавкіна К.А., Вусатюка А.Є., Іщенко Ю.І., Дуніна В.А., Дворника А.М. та ін. [24-27].

Документ [16] увібрав в себе всі основні методичні вказівки та розробки з науково-методологічного обґрунтування, проектування та експериментальної відпрацювання моніторингових систем в будівництві [13-15]. Однак, вже пройшло 5 років, і цей документ безнадійно морально застарів та потребує оновлення та переробки на відповідність сучасним викликам, не тільки в галузі бурхливого розвитку інформаційних технологій, електронних пристроїв та ін., а і сучасного бачення новітніх тенденцій зеленого будівництва, яке, як відомо, завдає найменшої шкоди оточуючому середовищу, у порівнянні з іншими типами будівель [28].

На основі аналізу наведеної інформації, численних прикладів нового будівництва в умовах ущільненої міської забудови м. Києва виникла гостра необхідність започаткування гібридної² теоретико-методологічної концепції Інтернету речей - IoT (Internet of Things), системи підтримки прийняття рішень – DSS (Decision Support System) та сховища даних - DW (Data Warehouse) в геотехніці для запобігання та попередження ґрунтових аварій у майбутньому, як логічний розвиток та поглиблення науково-технічного супроводу будівельних об'єктів.

1. Гібридна теоретико-методологічна концепція Інтернету речей - IoT (Internet of Things), системи підтримки прийняття рішень – DSS (Decision Support System) та сховища даних - DW (Data Warehouse) в геотехніці

Теоретичне обґрунтування гібридної концепції IoT, DSS та DW в геотехніці базується на:

- 1 Необхідності створення комплексної системи збору інформації, яка надходить з різного типу датчиків та різного типу фізичних (за своєю розмірністю) величин в режимах on-line та of-line - IoT;

² Гібрид — результат природного чи штучного схрещування між двома організмами різних таксонів. Гібриди між різними видами в межах того ж роду відомі як міжвидові гібриди. Гібриди між різними підвидами в межах видів відомі як внутрішньовидові поміси. Гібриди між різними родами відомі як міжродові гібриди. Див. Вікіпедія: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%B4>



Моніторинг будівельних об'єктів

Режим вимірювань (в часі)	Дискретизація	Об'єкт	Явище	Устаткування	Реакція (Відсух)
Безперервний	Синхронно	Конструкція	Вплив	Електричне	Статична
Періодичний	Асинхронно	Елемент конструкції	Навантаження	Оптичне	Динамічна
Неперіодичний		Матеріал	Параметри наколишнього середовища	Акустичне	Короткочасна
Одиничний		Композит	Реакції	Геодезичне	Довгострокова
		Інше	Деформації	Інше	Поширення дефіциту (нестачі)
		Інше	Старіння		
			Пошкодження		

Рисунок 2 - Класифікація методів спостережень и завдань [8]



II Накопичення інформації у сховищі даних – DW за відповідними правилами ранжування та зберігання інформації, яка повинна розкривати специфіку напружено-деформованого стану як окремих будівельних конструкцій будівлі, її фундаментної частини, прилеглої території, так і досліджуваної споруди в цілому за допомогою відповідних показників з датчиків, контрольно-вимірювальних приладів і ін., що з'єднані за допомогою IoT.

III Первинної та глибинної обробки та переробки накопиченої в DW інформації за допомогою сучасних математично-інформаційних методів (наприклад, математичних методів нейронних мереж та системи розпізнавання образів), що необхідно для вироблення різних сценаріїв управлінських рішень за допомогою DSS (математично-інформаційні методи штучного інтелекту та ін.).

Загальний IoT в геотехніці складається з набору різних за типом та системою реєстрації сенсорів, які об'єднані в одну мережу хмарними технологіями, кожний з яких:

- містить мікроконтролер, що забезпечує інтелектуальність;
- містить датчик, що вимірює лінійні та кутові деформації, прискорення та ін., містить виконавчий механізм, що спрацьовує при подоланні порогово, наперед заданого значення будь-якого фізичного параметра, що вимірюється цим чутливим елементом;
- інформація від речей та пристроїв геотехнічної IoT завдяки інтернету або якої-небудь другої локальної мережі накопичується в DW;
- накопичена інформація завдяки штучному інтелекту та нейронним мережам, що самовдосконалюються, трансформується завдяки геотехнічної DSS.

Базовими положеннями IoT, DSS та DW в геотехніці є:

- процедури послідовного аналізу при виборі критеріїв діагностики [20, 22, 24];
- засоби технічного діагностування та методи обробки отриманої інформації [21, 23, 25];
- еталонні апроксимаційні моделі для тестування системи моніторингу методом порівняння в режимі реального часу (on-line) [20, 22, 26];
- багаторівневості виконуваних функцій і засобів моніторингових досліджень [25, 26];
- концентрації діагностичної інформації у вигляді відповідної бази даних [20, 21, 24].

Існуюча щільна забудова в кожному випадку нового будівництва може створити ризик ушкодження або порушення нормальної експлуатації існуючих будинків, внаслідок впливу таких факторів [26]:

I. Порушення ґрунтів основи при проведенні робіт із влаштування котловану.

II. Додаткові напруження в активній зоні основи внаслідок додаткових навантажень.

III. Динамічні навантаження на основу будинків внаслідок влаштування огорожувальних конструкцій котловану (шпунтового огороження, паль).

IV. Деструктивні процеси в ґрунтах: ерозія, суфозія, промерзання, осідання, зміна гідрогеологічних умов і т. д.).

V. Вібраційні й динамічні навантаження від роботи будівельної й транспортної техніки.

VI. Вплив будівельної й транспортної техніки, а особливо вантажопідійомної техніки.

VII. Порушення нормальних умов інсоляції, вентиляції, інженерного забезпечення, благоустрою існуючих будинків.

На підготовчому етапі геотехнічного моніторингу за допомогою IoT виконуються такі роботи [26]:

- аналіз вихідної інформації за результатами обстеження технічного стану навколишньої забудови (діагностика технічного стану навколишньої забудови в зоні впливу будівельно-монтажних робіт і дії системи моніторингу);
- фіксація дефектів, графічна фіксація і фотозйомка, складання дефектних відомостей;
- визначення фонових параметрів коливань ґрунту і конструкцій будівель від наявних впливів автомобільного транспорту, трамваїв, метро, сусідніх виробництв і т. п., визначення кренів стін будівель, нерівномірностей в осіданнях будівель і т. п.;
- установка геодезичних марок з прив'язкою до міської реперної мережі;
- установка маяків і датчиків розкриття тріщин;
- установка п'єзометрів (режимних свердловин) для спостережень за рівнем ґрунтових вод (в першу чергу, для випадків, коли дно котловану знаходиться нижче рівня ґрунтових вод);
- уточнення проектних критеріїв по допустимим впливам;
- в найбільш складних і відповідальних випадках додатково встановлюють ґрунтові геодезичні марки і марки для вимірювання пошарових деформацій, датчики порового тиску, месдозы вертикальних і горизонтальних напружень.

На робочому етапі геотехнічного моніторингу за допомогою IoT та DW здійснюють [26]:

- вимір можливих переміщень огорожувальних конструкцій (при влаштуванні котловану);
- візуальний контроль технічного стану будівель і споруд навколишньої забудови;
- контроль стану маяків і датчиків на тріщинах;
- геодезичні вимірювання деформацій



навколишніх будинків і споруд;

- геодезичні вимірювання горизонтальних зсувів, крену і осідань огорожувальних стін, а також осідання і деформації підземних і наземних комунікацій;
- вимірювання деформацій і напружень в оточуючих ділянках будівництва ґрунтах, після будівництва протягом не менше двох років;
- вимірювання ґрунтового тиску на огорожувальні стінки котловану;
- фіксація рівня ґрунтових вод з використанням п'єзометрів;
- контроль дотримання геотехнічного регламенту робіт;
- технічний контроль стану зведених конструкцій;
- контроль якості виконаних робіт відповідно до вимог нормативних документів, у т. ч. контроль влаштування монолітних конструкцій;
- для найбільш складних випадків необхідно проводити моніторинг вищезгаданих показників за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури в режимі реального часу.

Цей перелік не є остаточний та буде безперервно доповнюватися та розширятися. На даний час він містить тільки окремі базові процедури та параметри.

2. Застосування гібридної концепції IoT, DSS ТА DW в умовах ущільненої міської забудови будівлі «Гостинний двір» при реконструкції Поштової площі. Експериментальні дослідження.

Будівля «Гостинний двір» на Контрактовій площі, 4 в Подільському районі м. Києва зведена в кінці 80 років минулого століття. Архітектурно-планувальне рішення будівлі максимально наближене до проектного рішення будівлі початку 19 століття, яке так і не було повністю реалізоване. Будівля складна в плані, представляє собою дві П-подібні частини, що утворюють замкнений внутрішній простір. Розміри в осях – 122,2x65,5 м. Будівля двоповерхова з підвалом. Будівля розділена двома температурними швами – по осі 10//Л-Р і по осі 20//А-Е. Конструктивна схема будівлі змішана: в підвалі і на першому поверсі несучими є поперечні і повздовжні стіни, на другому поверсі і горищі несучими елементами є цегляні стовпи-колони, що спираються на поперечні стіни (рис. 3). Конструктив будівлі

спеціально пристосований для експлуатації в складних інженерно-геологічних умовах - передбачені монолітні пояси на рівні низу перекриттів і по підшві фундаментів, плити перекриття мають додаткове анкерування, влаштовані монолітні розпірки і балки для мінімізації динамічних впливів. Слабке місце в конструктиві – це застосування цегляних склепінчастих перекриттів на окремих ділянках, що зумовлено архітектурними особливостями будівлі.

У 2012 році на об'єкті виконувались роботи з науково-технічного супроводу реконструкції, що включали:

- візуальне обстеження конструкцій;
- інструментальні дослідження міцності матеріалів;
- перевірочні розрахунки з оцінки НДС системи «основа-фундамент-споруда»;
- вібродинамічні дослідження ґрунту, фундаменту та несучих конструкцій при впливах автотранспорту, роботі будівельної техніки та руху потягів метрополітену;
- розробка технічних рішень з підсилення фундаментів та несучих конструкцій за результатами виконаних досліджень.

За результатами візуального обстеження встановлено, що за роки експлуатації в конструкціях будівлі виникли пошкодження, які можна класифікувати таким чином:

- повздовжні тріщини в цегляних склепінчастих перекриттях із шириною розкриття до 3,0 мм;
- вертикальні тріщини в цегляних стінах із шириною розкриття до 2,0 мм;
- тріщини в цегляних арках зовнішніх стін із шириною розкриття до 2,5 мм;
- горизонтальні тріщини в цегляних стінах із шириною розкриття до 0,5 мм;
- розкриття деформаційних швів – вивітрювання і випадання із них розчину;
- тріщини із шириною розкриття до 1,0 мм в стиках плит перекриття;
- замокання конструкцій атмосферними опадами.



Рисунок 3 - Вигляд фасаду в осях А-Р (фото 2012 року)



Характер пошкоджень вказує на те, що основною причиною їх виникнення є нерівномірні деформації основи фундаментів внаслідок додаткового ущільнення пісків від динамічних впливів. Аналіз пошкоджень, що виникли в будівлі за роки експлуатації вказує на те, що на даний момент будівля розділена на декілька блоків і зазнала зниження просторової жорсткості.

На ділянці забудови по Контрактовій площі, 4 слід виділити наступні несприятливі фізико-геологічні фактори:

- суттєву неоднорідність залягання як по площі так і по глибині ґрунтів основи;
- залягання безпосередньо під плямою забудови лінії метрополітену і створення додаткових динамічних навантажень на конструкції будівлі;
- здатність до віброкомпресії водонасичених пісків, що залягають безпосередньо під підшовою фундаментів і в межах стисненої товщі основи фундаментів;
- можливість механічної суфозії пилуватих частинок ґрунтів основи під дією динамічних впливів та коливаннях рівня ґрунтових вод.

Поруч з будівлею проходять транспортні шляхи з інтенсивним рухом в часи „пік” легкового автотранспорту та рейкового транспорту (трамваїв). Рух вантажного транспорту на прилеглих до Контрактової площі вулицях заборонений. Лінія метрополітену низького залягання проходить під будівлею „Гостинного двору”. Лінія метрополітену зводилась закритим способом.

Будівля розміщена над тунелями метро на перегоні між станціями „Поштова площа” та „Контрактова площа” приблизно в 70 м від границі підземної станції метро „Контрактова площа” (рис.4). Рух потягів метро здійснюється по звичайній (не віброізолюваній) колії. Час руху потягів метрополітену складає між вказаними перегонами біля 2 хвилин. Швидкість руху потягів метрополітену на даному перегоні не є максимальною.

Динамічні навантажен-

ня на будівлю „Гостинного двору” створюють наземний автомобільний та рейковий транспорт, потяги метрополітену. Спеціальних обмежень швидкості руху наземного транспорту на прилеглих до будівлі транспортних шляхах не виявлено. Потяги метрополітену під будівлею „Гостинного двору” рухаються зі змінною швидкістю в режимах розгону або гальмування.

Методика IoT проведення вібродинамічних випробувань встановлює порядок виконання робіт при динамічних випробуваннях. Розробка методики випробувань виконувалась на основі нормативних документів [12 - 16]. Методикою IoT передбачено виконання таких завдань:

- провести вибір та підготовку віброметричної апаратури для вібродинамічних випробувань;
- розробити схеми розміщення вібродатчиків для проведення обстежень будівлі та ґрунту з врахуванням особливостей руху всіх видів транспорту;
- провести записи коливань будівлі та ґрунту;
- накопичити данні вимірювань в DW.
- провести обробку одержаних записів коливань та виконати їх аналіз на основі спектрального методу як перший етап підготовки DSS;

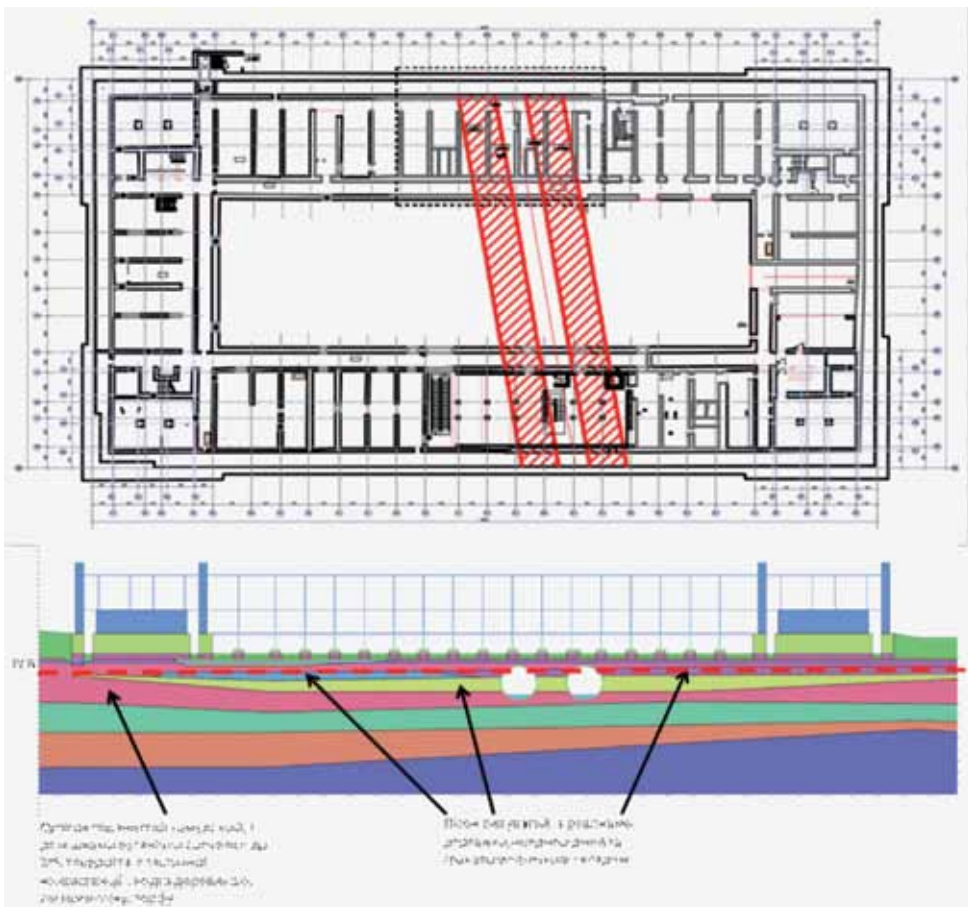


Рисунок 4 - Схема розташування будівлі „Гостинний двір”. Дві червоні полоси на верхній частині рисунку 4 та білі круги на нижній частині рисунку 4 – нитки метрополітену



- побудувати графіки віброприскорень та їх спектри в реальному часі по кожному із напрямків X, Y та Z для кожного із об'єктів випробувань;
- на основі виконаних вібродинамічних досліджень визначити додатковий динамічний вплив на фундамент будівлі "Гостинний двір" та прилеглий ґрунт (наступний етап підготовки DSS).

Враховуючи розміщення лінії метрополітену низького залягання під будівлею „Гостинного двору” вимірювання параметрів коливань виконано по трьом ортогональним напрямкам – вертикальному по Z та горизонтальному по двох складових X та Y. Вібродинамічні обстеження здійснювались відповідно до положень розробленої методики IoT. Результати вібродинамічних обстежень включають графіки віброприскорень та їх амплітудні спектри. Динамічний вплив на будівельні споруди та ґрунт фіксувався безпосередньо при візуальній оцінці наявності автотранспорту на проїзній частині. Динамічний вплив рухомих потягів метрополітену на конструкції визначався на основі проведених записів віброприскорень та при візуальній оцінці. На рисунках 5-8 представлено графіки часових сигналів вертикальних та горизонтальних віброприскорень.

За результатами вібродинамічних випробу-

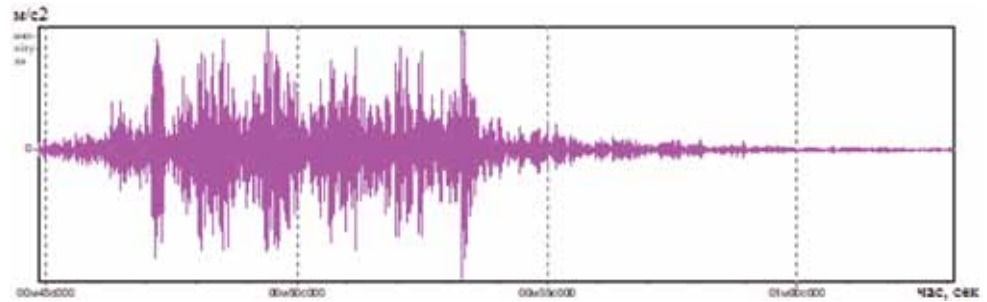


Рисунок 5 - Графік сигналу горизонтальних віброприскорень ґрунту по осі Y (вздовж цифрових осей) над лінією метрополітену біля будівлі „Гостинний двір” в м. Києві під час руху потягу метро

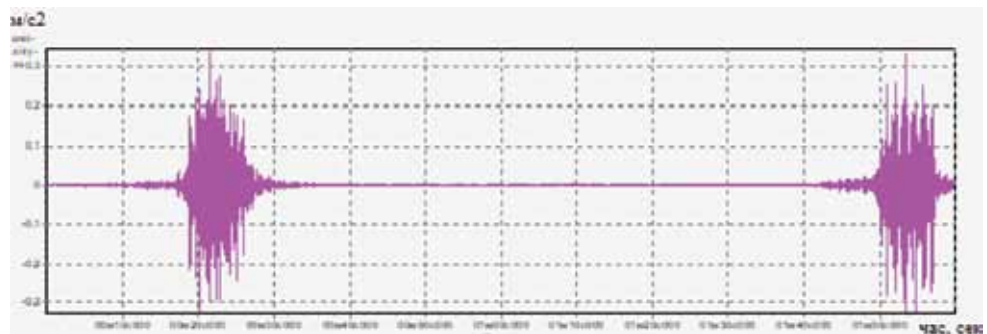


Рисунок 6 - Графік сигналу горизонтальних віброприскорень ґрунту по осі X (вздовж буквених осей) над лінією метрополітену біля будівлі „Гостинний двір” в м. Києві під час руху потягу метро

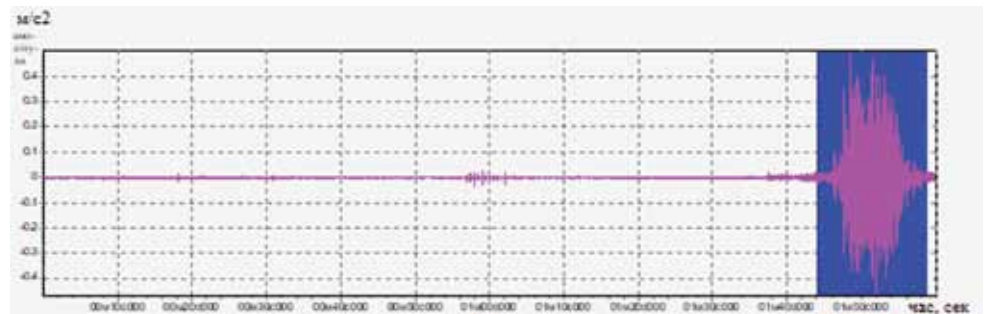


Рисунок 7 - Графік сигналу вертикальних віброприскорень ґрунту по осі Z над лінією метрополітену біля будівлі „Гостинний двір” в м. Києві під час руху потягу метро

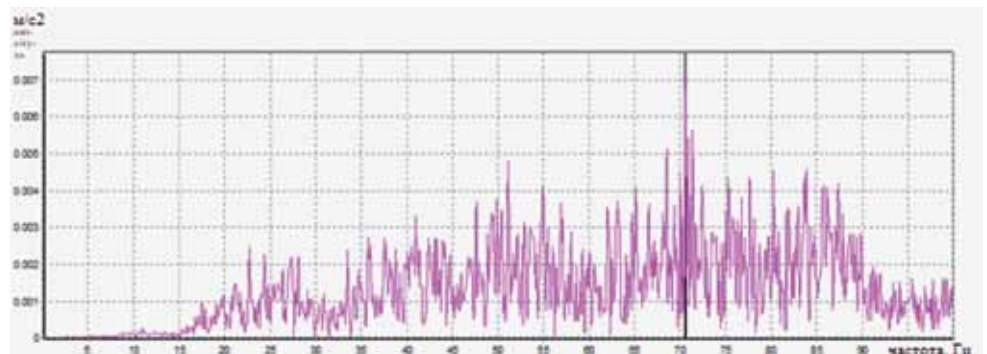


Рисунок 8 - Амплітудний спектр вертикальних віброприскорень конструкцій станції метрополітену під час руху потягів метро



вань переважаюча частота коливань ґрунту при русі наземного транспорту складає 15 Гц, при русі потягів метрополітену 55 Гц. Максимальне значення амплітуд віброприскорень з врахуванням одночасної дії всіх видів динамічного впливу зафіксовано для ґрунті біля будівлі над лініями метро, що складає значення 64 см/с² в горизонтальному напрямку та 42 см/с² для вертикального напрямку. Додаткове вертикальне динамічне навантаження від власної ваги об'єкту при русі потягів метрополітену складає: на фундаменти будівлі до 1,0%, на ґрунт біля будівлі до 7 %, на перекриття будівлі до 5 %.

3. Прямий динамічний розрахунок НДС системи «основа-фундамент» будівлі «Гостинний двір» з урахуванням експериментально зареєстрованих та змодельованих динамічних навантажень від метрополітену

Виконано моделювання НДС системи «основа-фундамент» будівлі «Гостинний двір» з урахуванням експериментально зареєстрованих та змодельованих динамічних навантажень від метрополітену. Метою розрахунків є оцінка рівнів вібрації в ґрунтовій основі будівлі для прогнозування зміни її напружено-деформованого стану.

Розрахункова модель виконана в програмному комплексі Midas GTS NX, що використовує метод скінчених елементів. Моделювання поведінки ґрунту виконано з допомогою моделі Мора-Кулона. Динамічні розрахунки системи «основа-фундамент» виконано за прямим динамічним методом Linear Time History (Modal/Direct) - лінійний нестационарний розрахунок (модальний/прямий). В лінійному нестационарному розрахунку знаходиться вирішення динамічних рівнянь рівноваги для поведінки об'єкту дослідження в певний момент часу з використанням динамічних властивостей споруди та заданих динамічних навантажень. Для виконання лінійного нестационарного розрахунку використовується метод суперпозиції форм (Modal superposition method) та прямий метод (Direct method).

Через концепцію лінійного розрахунку, нелінійності в такому розрахунку не враховуються. При використанні нелінійних матеріалів виконується заміна матеріалу на еквівалентний лінійно пружний.

Прямий метод представляє собою нестационарний розрахунок, який використовує ступені свободи всієї області розрахунку в якості змінних. GTS NX використовує α метод (ННТ- α), запропонований Гілбером, Хьюзом і Тейлором (Hilber, Hughes, Taylor) для неявного прямого інтегрування. Метод ННТ- α являє собою загальну форму методу Ньюмарка і володіє контрольованим чисельним ефектом демпфірування. Даний ефект має точність другого порядку для кроків по часу, як і метод Ньюмарка, і з його

допомогою можна контролювати високочастотний шум. Метод ННТ- α використовує наступне модифіковане рівняння рівноваги:

$$Ma^{n+1} + (1 + \alpha_H)[Cv^{n+1} + f^{int,n+1}] - \alpha_H[Cv^n + f^{int,n} - f^{ext,n}] = 0$$

де a^{n+1} та v^{n+1} – відповідно, вектор прискорення та швидкість на кроці $n+1$ по часу.

$\alpha_H \in [-1/3, 0]$ – коефіцієнт, що визначає чисельний ефект демпфірування.

Швидкість, переміщення і прискорення для кроків по часу n , $n+1$ можуть бути описані з допомогою таких виразів, які використовують нестационарне рівняння методу Ньюмарка:

$$V^{n+1} = V^n + \Delta t[\gamma a^{n+1} + (1-\gamma) a^n]$$

$$u^{n+1} = u^n + \Delta t V^n + 1/2 \Delta t^2 [2\beta a^{n+1} + (1-2\beta)a^n]$$

Метод інтегрування по часу (ННТ- α) володіє безумовною стійкістю при $\gamma = (1 + 2\alpha_H)/2$, $\beta = (1 + \alpha_H)^2/4$ та при $\alpha_H = 0$. Даний метод є спеціалізацією методу Ньюмарка з використанням середнього прискорення. В GTS NX використовується значення за замовчуванням $\alpha_H = -0,05$.

В GTS NX враховано два види демпфірування: масове та жорстке. Реалізовано також демпфірування за формою коливань, яке застосовується тільки при суперпозиції форм. Ефекти демпфірування в лінійному нестационарному розрахунку враховуються за допомогою матриці жорсткості C в наступній формі:

$$C = \alpha_j^e M_j^e + \beta_j^e K_j^e + B$$

де α_j^e – коефіцієнт масового демпфірування для j -го елемента;

M_j^e – матриця мас j -го елемента;

β_j^e – коефіцієнт жорсткості демпфірування для j -го елемента;

K_j^e – матриця жорсткості j -го елемента;

B – матриця демпфірування пов'язана з демпфіруючим елементом (демпфером).

Чисельна модель розрахована на динамічні навантаження від руху поїздів метрополітену під будівлею «Гостинного двору». В рамках розробки моделі проводилась її верифікація з результатами вібродинамічних досліджень на об'єкті. Для цього в чисельній моделі коригувались динамічні характеристики ґрунтів та параметри навантаження на колії метро з тим щоб досягнути розходження результатів розрахунку з результатами натурних випробувань не більше 15%.

В розрахунковій схемі змодельовано НДС системи для трьох варіантів динамічних навантажень:

1. Використано трьохкомпонентні аксе-



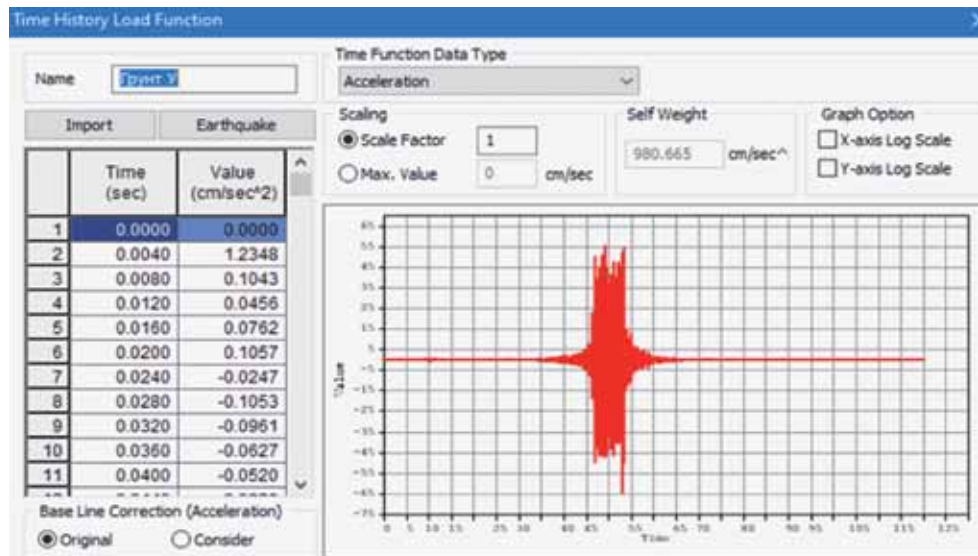
лерограми, отримані за результатами вібродинамічних досліджень об'єкту. На основі цієї моделі виконувалась оцінка розподілу вібрацій в ґрунтовій основі з урахуванням геологічної будови та підземних конструкцій.

2. Прикладено навантаження від руху поїзду по одному з тунелів. На основі цієї моделі виконано оцінку зони впливу метрополітену на НДС ґрунтової основи та визначено розрахункові параметри вібрації.
3. Прикладено навантаження для варіанту одночасного руху поїздів по обох тунелях. На основі цієї моделі виконано оцінку зміни розрахункових параметрів вібрації при збільшенні інтенсивності впливу.

Розрахункові акселерограми задані тривалістю 120 с з кроком 0,004 сек (рис. 9). Навантаження від руху поїзду прикладені як динамічні вузлові навантаження з використанням одного з закладених в програмі комплектів даних для різних типів поїздів. Обрано шестивагонний поїзд типу EL-18 Standart. Швидкість руху прийнято 60 км/год, час проходження під будівлею 3 сек. Масштабний коефіцієнт до розрахункових навантажень прийнято рівним 5 і підбирався в процесі верифікації моделі, для приведення результатів у відповідність з віброметричними дослідженнями. Збільшення динамічних навантажень у порівнянні з розрахунковим може бути пов'язане з наступними факторами: вплив зношеності рельсів, колісних пар, наявність стрілочних переходів, розгалужень і т.п.

В результаті моделювання отримано розрахункові значення прискорень, амплітуд та швидкостей в ґрунті основи (рис. 10-12). Є можливість отримати розрахункові значення

кожній точці моделі у заданий момент часу. На рисунках нижче приведено ізополі розподілу максимальних значень прискорень та амплітуд зміщень. Встановлено, при проходженні поїздів метрополітену максимальні значення прискорень в ґрунті під підшовою фундаментів досягають 30 с/м². Амплітуда зміщень – до 1,8 см. Для варіантів руху одного та двох поїздів значення максимальних значень вібрації практично не змінюються, при цьому значно збільшується зона дії максимальних вібрацій. Максимальна зона впливу становить: ширина -- 77 м, глибина – 16 м. В межах зони впливу метрополітену значен-



Розрахункові параметри акселерограми в GTS NX

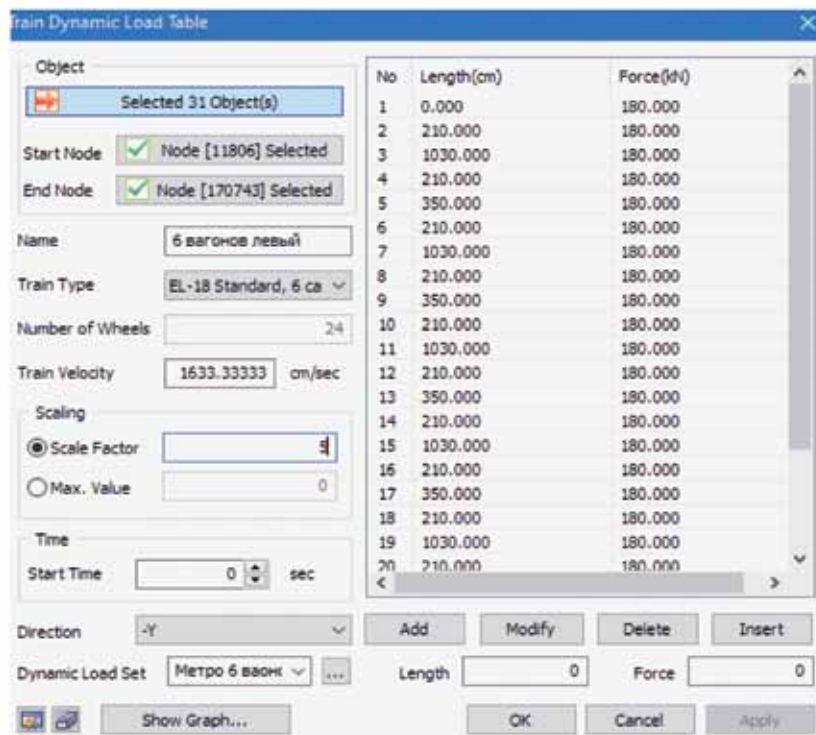


Рисунок 9 - Розрахункові параметри навантаження від потягів в GTS NX.



ня напружень в ґрунтовій основі змінюються у порівнянні зі значеннями, отриманими для статичних навантажень. Вертикальні напруження в межах стиснутої товщі коливаються в межах $\pm 3-20\%$ залежно від розташування відносно тунелю метро, горизонтальні напруження – $\pm 6-30\%$.

Отримані результати свідчать про те, що зважаючи на геологічну будову ґрунтової основи та наявні динамічні впливи є значний ризик додаткових деформацій основи, спричинених явищами віброкомпресії та тіксотропії. Враховуючи значні розміри будівлі, порівняно з зоною активного впливу метрополітену, вказані явища можуть мати локальний характер, що призводить до прояву значної нерівномірності деформацій. Для прогнозу реакції основи на розрахункові динамічні впливи та прогнозу деформацій необхідно виконувати додаткові дослідження ґрунтів з використанням вібростендів, тощо. При цьому ґрунти слід досліджувати на динамічні впливи з тими ж параметрами, що отримані за результатами вібродинамічних обстежень та моделювання.

На основі розрахункових даних (рис. 10-12 та ін.) можна орієнтовно оцінити ступінь ризику додаткових нерівномірних осідань та їх тривалість у часі, використовуючи літературні дані, засновані на дослідженнях інших авторів, зокрема табл. П1 документа [29] наведена нижче. Згідно наведених даних і відповідно до результатів віброметричних досліджень та моделювання в ґрунтовій основі Гостинного двору діють динамічні впливи, що призвели до прояву додаткових осідань фундаментів зі швидкістю 2-3 мм/рік затухаючого характеру. В

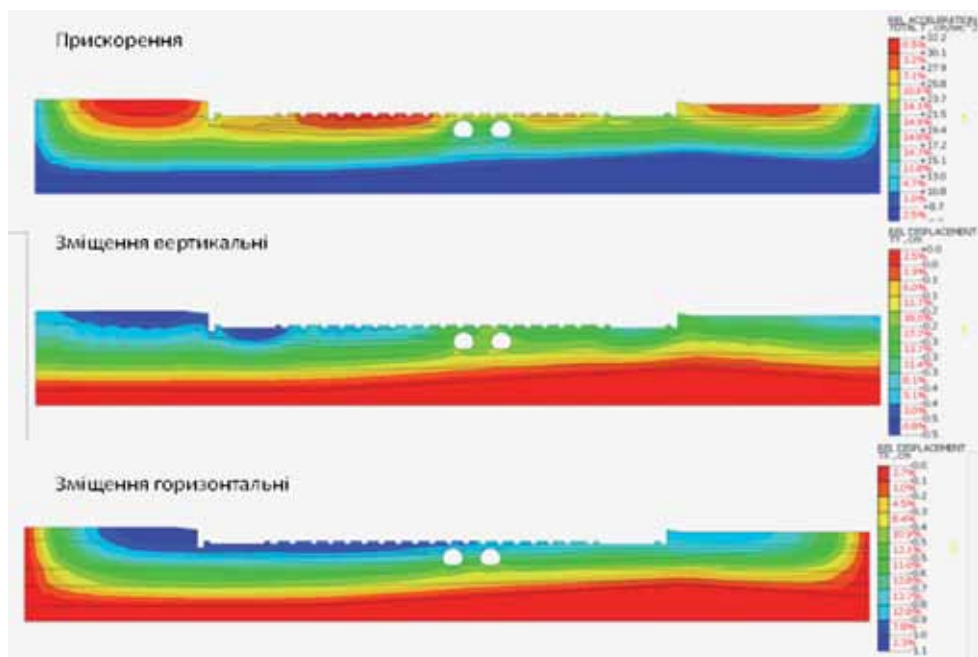


Рисунок 10 - Результати розрахунків з використанням акселерограм.

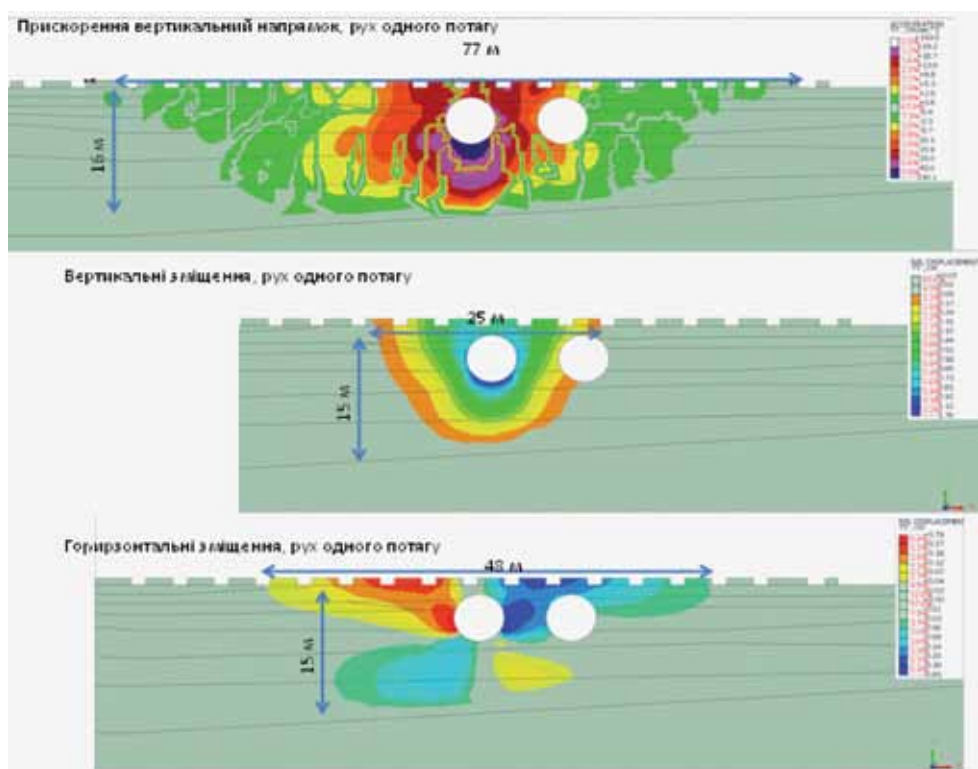


Рисунок 11 - Результати розрахунків при русі одного поїзду

активній зоні безпосередньо над метро осідання фундаментів можуть мати незатухаючий характер зі швидкістю 3-5 мм/рік. Ці дані корелюються з характером пошкоджень будівлі, що виявлені під час візуальних обстежень. В рамках науково-технічного супроводу, реконструкції на основі виконаних досліджень та розрахунків, було роз-



роблено технічні рішення щодо підсилення частини фундаментів над лініями метрополітену, підсилення надземних конструкцій та зниження вібраційних впливів від метрополітену на ґрунтову основу будівлі.

ВИСНОВКИ

1. Запропонована загальна концепція геотехнічних IoT, DSS та DW в умовах ущільненої міської забудови. Їх застосування буде сприяти поглибленню наукового розуміння ґрунтових відмов, зможе забезпечити уточнене картографування зсувонебезпечних зон та оцінку їх руйнівного потенціалу. Ця інформація повинна бути надана у вигляді DW, що сприятиме застосуванню DSS. Першим етапом IoT дослідження ґрунтових відмов стали різноманітні системи моніторингу, які, переважно, виконували роль збору інформації про досліджуваний об'єкт або явище.

2. Ризик, пов'язаний з проектуванням і функціональністю ґрунтових конструкцій, є одним з найвищих [2-5]. Це підкреслює необхідність розрахунку і зниження такого ризику за допомогою наявних методів і засобів для додаткового контролю фізико-механічних властивостей ґрунтів. Одним з таких методів може бути геотехнічні IoT, DW та DSS, що здійснюється на безперервній та періодичній основі під час будівництва і деякий час після його закінчення. Одним з основних

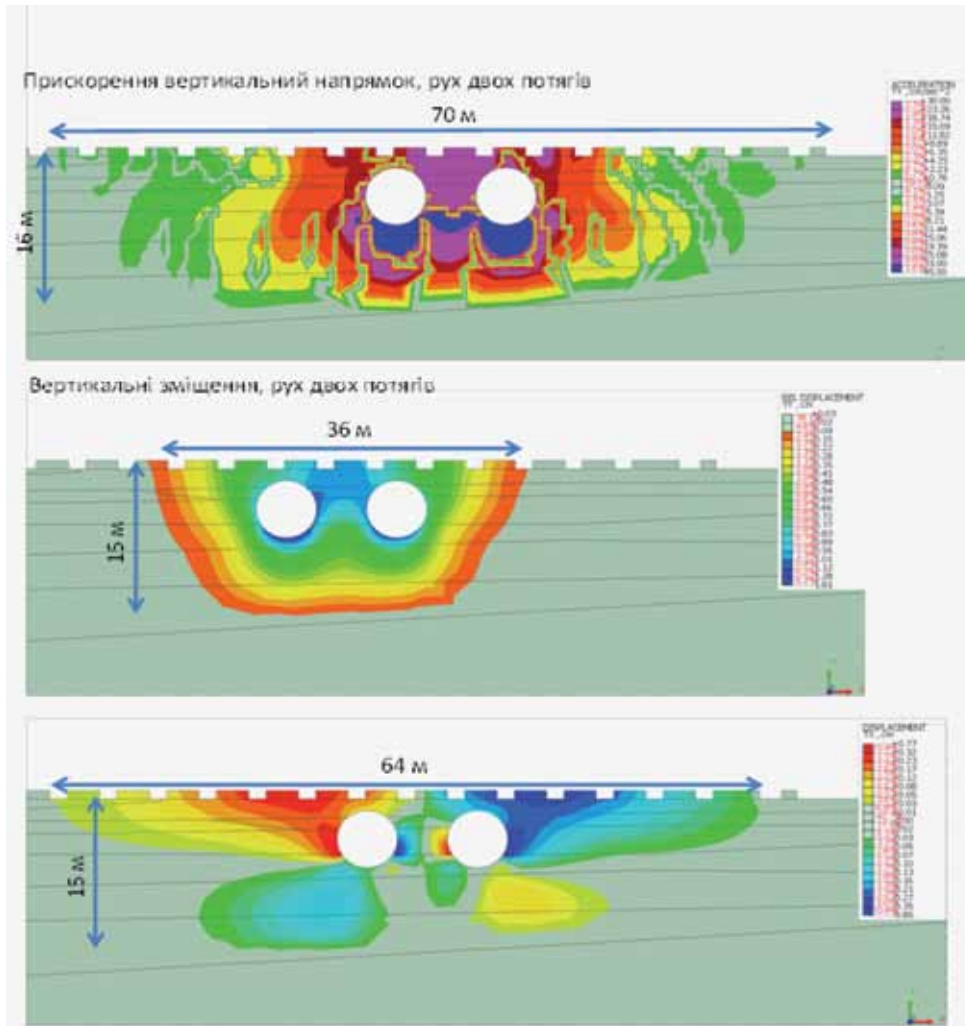


Рисунок 12 - Результати розрахунків при русі двох поїздів

Таблиця 1 - Вплив вібрацій на осідання будівель

Прискорення коливань поверхні ґрунту біля фундаментів, cm/s^2	Характеристика динамічних осідань фундаменту	
	в водонасичених замулених пісках, текучепластичних глинах та інших слабких ґрунтах	в пісках (крім вказаних) та пластичних глинистих ґрунтах
до 5	Незначні затухаючі осідання	Осідання відсутні
від 5 до 15	Затухаючі осідання (2-3 мм/рік)	Незначні незатухаючі або слабо затухаючі осідання (1-2 мм/рік)
від 15 до 30	Незатухаючі осідання (3-5 мм/год)	Незатухаючі осідання (2-3 мм/год)
від 30 до 50	Значні незатухаючі осідання (більше 5 мм/рік)	Незатухаючі осідання (3-5 мм/год)



видів робіт при науково-технічному супроводі будівельного об'єкта є IoT, DW та DSS його технічного стану. Для забезпечення безпечної експлуатації будівель і споруд необхідна поточна інформація IoT та DW 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 [15], а на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій - IoT, DW та DSS.

3. За результатами проведених натурних вібродинамічних обстежень конструкцій станції метрополітену «Поштова площа», вібродинамічних обстежень ґрунту та стінок котловану майданчику реконструкції при впливах автотранспорту, роботі будівельної техніки та рухомих потягів метрополітену з застосуванням IoT можна зробити наступні висновки:

3.1. Зареєстровані максимальні значення вертикальних віброприскорень поверхні ґрунту у місці розташування підпірної стінки на майданчику реконструкції Поштової площі з врахуванням одночасної дії автотранспорту, будівельної техніки та потягів метрополітену складає $7,3 \text{ см/с}^2$. На глибині 13 м розрахункові значення вертикальних прискорень ґрунту дорівнюють 19 см/с^2 . Тому при розрахунках конструкцій підпірної стінки динамічні вертикальні навантаження на її конструкції необхідно додатково врахувати 5-2 % від статичних навантажень (у підсумку враховується 1,05-1,02 статичних навантажень).

3.2. Зареєстровані максимальні значення горизонтальних віброприскорень поверхні ґрунту у місці розташування підпірної стінки на майданчику реконструкції Поштової площі з врахуванням одночасної дії автотранспорту, будівельної техніки та потягів метрополітену складає $15,1 \text{ см/с}^2$. На глибині 13 м розрахункові значення прискорень ґрунту дорівнюють 39 см/с^2 . DSS свідчить, що при розрахунках конструкцій підпірної стінки динамічні горизонтальні навантаження на її конструкції необхідно додатково врахувати 7-4 % від статичних навантажень (у підсумку потрібно враховувати до 110 % від статичних навантажень).

3.3. Зареєстровані максимальні значення вертикальних віброприскорень

конструкцій станції метрополітену «Поштова площа» при русі одного потягу складають 35 см/с^2 . Динамічні вертикальні навантаження на конструкції станції при одночасному русі двох потягів метрополітену не перевищують 9% статичних навантажень.

3.4. Зареєстровані максимальні значення горизонтальних віброприскорень конструкцій станції метрополітену «Поштова площа» при русі одного потягу складає 30 см/с^2 . Динамічні горизонтальні навантаження на конструкції станції при одночасному русі двох потягів метрополітену не перевищують 8% статичних навантажень.

4. Частоти коливань конструкцій станції метрополітену «Поштова площа» та ґрунту майданчику реконструкції, при впливах потягів метрополітену, зареєстровані у діапазоні 20-90 Гц. При русі одиночного потягу метро під час визначеного проміжку часу переважаюча частота коливань платформи станції Поштова площа складає $f=44.8750 \text{ Гц}$. При русі одночасно двох потягів метро переважаюча частота коливань платформи станції складає $f=70.6250 \text{ Гц}$ (див рис.8). При русі одночасно трьох потягів метро переважаюча частота коливань платформи станції складає $f=88.0938 \text{ Гц}$.

5. Отримані результати свідчать про те, що зважаючи на геологічну будову ґрунтової основи та наявні динамічні впливи є значний ризик додаткових деформацій основи, спричинених явищами віброкомпресії та тіксотропії. Враховуючи значні розміри будівлі порівняно з зоною активного впливу метрополітену вказані явища можуть мати локальний характер, що призводить до прояву значної нерівномірності деформацій.

6. Для прогнозу реакції основи на розрахункові динамічні впливи та прогнозу деформацій необхідно виконувати додаткові дослідження ґрунтів з використанням вібростендів, тощо. При цьому ґрунти слід досліджувати на динамічні впливи з тими ж параметрами, що отримані за результатами вібродинамічних обстежень та моделювання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Уже не строят, но еще продают. Топ-10 незаконных ЖК столицы. URL: <http://eveningkiev.com/article/33946>
2. В центре Киева застройщики рушат старинные дома. URL: https://censor.net.ua/photo_news/254614/v_tsentre_kieva_zastroyischiki_



- rushat_starinnye_doma_foto
3. Печерск. новострой на опасном склоне: власть, жадность, биты и оползни. URL: https://censor.net.ua/resonance/166/pechersk_novostroyi_na_ora_snom_sklone_vlast_jadnost_bity_i_opolzni_viktoriya_vladina_dlyatsenzornet
 4. Трешувшие столичные дома могут рассчитывать только на установку «маячков». URL: <http://eveningkiev.com/article/36152>
 5. Слюсаренко Ю.С., Мелашенко Ю.Б. Досвід спорудження офісно-житлового центру на вул. Мечникова, 11-А в Печерському районі Києва. Будівництво України. 2018, №3.
 6. Ваничек І. Применение Ерокода 7 к грунтовыми конструкциям. Світ геотехніки. 2016. № 4. С. 4-8.
 7. Долина Л.Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. Д.: Континент L., 2002. Ч.1. Основы мониторинга. 208 с.
 8. 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.
 9. Калюх Ю.І. Управління природними та техногенними ризиками - важливе завдання місцевих та центральних органів влади. Вісн. УАДУ. 1999. № 1. С. 265 - 273.
 10. Титаренко О.М., Калюх Ю.І. Можливості інформаційно-аналітичного моніторингу у встановленні суспільного діалогу малих підприємств з владою на місцевому рівні. Управління сучасним містом. 2002. № 7-9 (7). С. 136-139.
 11. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (2009) Terminology on Disaster Risk Reduction. URL: <http://www.unisdr.org>
 12. 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.
 13. Слюсаренко Ю.С., Титаренко В.А., Шумінський В.Д. Нормативне забезпечення проектування у галузі фундаментобудування, підземних споруд і геотехніки. Нові технології в будівництві. 2017. Вип. 33/1. С. 41-52.
 14. Слюсаренко Ю.С., Титаренко В.А., Мелашенко Ю.Б., Шумінський В.Д. Нормативна база України з проектування основ і фундаментів будівель і споруд. Сучасний стан і перспективи розвитку. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2018. Вип. 72. С. 162-170.
 15. ДБН В.1.1-3-97 "Інженерний захист території, будівель і споруд від зсувів і обвалів. Основні положення". URL: chrome-extension://oemmnrcbldboiebnladdacbfmadadm/https://kga.gov.ua/dp.kga.gov.ua/images/files/9DBN_B.1.1-3-97.pdf
 16. ДБН В.1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів». К.: Укрбудархінформ, 2007. 14 с.
 17. ДБН В.1.2-12-2008 «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки». К.: Укрбудархінформ, 2007. 34 с.
 18. ДБН В.1.2-14-2009 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований». К.: Укрбудархінформ, 2007. 14 с.
 19. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. [Чинні від 01 квітня 2017 року]. К. : Мінрегіонбуд, 2017. 42 с. (Державні будівельні норми України).
 20. Trofymchuk O., Kaliukh I., Klymenkov O. 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. 2017. Volume 1. Springer, Cham., 491-508. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6_37
 21. Trofymchuk O.M., Kaliukh I.I., Hlebchuk H.S., Berchun V.P. 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. 2013. P.883-890.
 22. Trofymchuk O., Kaliukh Y., Dunin V., Berchun Y. On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. Cybernetics and Systems Analysis. 2018. 54, 600–609. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9>
 23. Trofymchuk O., Kaliukh I. 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. 2013. 2(2):68-76.
 24. Trofymchuk O., Kaliukh I., Berchun V. Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from Autonomous Republic of Crimea. Proceedings of the WLF4. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 2017. P. 587-595.
 25. Kaliukh I., Senatorov V., Khavkin O., Polevetskiy V., Silchenko K., Kaliukh T., Khavkin K. 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. P.625-628.
26. Слюсаренко Ю.С., Іщенко Ю.І., Мелашенко Ю.Б., Яковенко М.С., Бень О.В. Геотехнічний моніторинг в умовах ущільненої міської забудови. Наука та будівництво. 2020. № 3. С.13-25.
27. Sliusarenko Yu., Tytarenko V., Shuminskiy V., Vynnykov Y. Designing of buildings and structures at land sliding and slide hazardous segments of slopes. Academic Journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2018. Vol 2, No 51. P. 124-131. DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2018.51.1303>
28. Фаренюк Г.Г., Калюх Ю.І., Іщенко Ю.І. Концепція «зеленого будівництва» та її застосування при проектуванні та розрахунках геотехнічних конструкцій. Наука та будівництво. 2020, № 2. С. 19 - 43.
29. СП 441.1325800.2019. Додаток Г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554818817>
10. Tytarenko, O.M., & Kaliukh, Yu.I. (2002). Opportunities for information and analytical monitoring in establishing a public dialogue of small entrepreneurs with the authorities at the local level. *Modern city management*, 7-9 (7), 136-139.
11. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. Retrieved from <http://www.unisdr.org>
12. Kaliukh, Yu.I., & Ishchenko, Yu.I. (2020). Theoretical concept and practical implementation of a new integrated methodology of early landslide warning systems. *Science and Construction*, 1, 5-17.
13. Sliusarenko, Yu.S., Tytarenko, O.M., & Shuminskiy, V.D. (2017). Regulatory support for design in the field of foundations, underground structures and geotechnics. *New technologies in construction*, 33/1, 41-52.
14. Sliusarenko, Yu.S., Tytarenko, O.M., Melashenko, Yu.B., & Shuminskiy, V.D. (2018). Regulatory framework of Ukraine for the design of buildings and structures bases and foundations. Current state and development prospects. *Bulletin of Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 72, 162-170.
15. Engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and collapses. Main principles: DBN V.1.1-46:2017. (2017). Retrieved from: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfdmadadm/https://kga.gov.ua/dp.kga.gov.ua/images/files/9DBN_B.1.1-3-97.pdf
16. Scientific and technical support of construction projects: DBN V.1.2-5:2007. (2008).
17. Construction in the restrained development conditions. Safety requirements: DBN V.1.2-12-2008. (2009).
18. General principles for reliability and constructive safety ensuring of buildings and civil engineering works: DBN V.1.2-14:2018. (2019).
19. Guidance on scientific and technical monitoring of buildings and structures: DSTU-N B V.1.2-17:2016. (2017).
20. 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. In: Sassa, K. et al. (Eds.) *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. (Vol. 1). Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6_37
21. Trofymchuk, O.M., Kaliukh, I.I., Hlebchuk, H.S., & Berchun, V.P. (2013). Experimental and analytical studies of

REFERENCES

1. They do not build any more, but still sell. Top 10 illegal residential complexes of the capital. Retrieved from <http://eveningkiev.com/article/33946>
2. Developers demolish old houses in the downtown Kyiv. Retrieved from https://censor.net.ua/photo_news/254614/v_tsentre_kieva_zastroyischiki_rushat_starinnye_doma_foto
3. Pechersk. New building on a hazardous slope: power, greed, bats and landslides. Retrieved from https://censor.net.ua/resonance/166/pechersk_novostroyi_na_opa_snom_sklone_vlast_jadnost_bity_i_opolzni_viktoriya_vladina_dlyatsenzornet
4. Cracked houses of the capital can only count on the installation of "beacons". Retrieved from <http://eveningkiev.com/article/36152>
5. Sliusarenko, Yu.S., & Melashenko, Yu.B. (2018). The experience of the business-residential center construction at 11-A Mechnikova Street in the Pechersk District of Kyiv. *Construction of Ukraine*, 3.
6. Vaniček, I. (2016). Eurocode 7 application to soil structures. *World of Geotechnics*, 4, 4-8.
7. Dolina, L.F. (2002). Basics of monitoring. In: *Environmental monitoring and engineering methods for biosphere protection (Part 1)*. Dnipropetrovsk: Kontinent L.
8. International Federation for Structural Concrete (fib), Task Group 5.1. (2003). Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures. State of art report.
9. Kaliukh, Yu.I. (1999). Natural and man-made risk management is an important task for local and central authorities. *Bulletin of the NAPA*, 1, 265-273.
10. Tytarenko, O.M., & Kaliukh, Yu.I. (2002). Opportunities for information and analytical monitoring in establishing a public dialogue of small entrepreneurs with the authorities at the local level. *Modern city management*, 7-9 (7), 136-139.
11. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. Retrieved from <http://www.unisdr.org>
12. Kaliukh, Yu.I., & Ishchenko, Yu.I. (2020). Theoretical concept and practical implementation of a new integrated methodology of early landslide warning systems. *Science and Construction*, 1, 5-17.
13. Sliusarenko, Yu.S., Tytarenko, O.M., & Shuminskiy, V.D. (2017). Regulatory support for design in the field of foundations, underground structures and geotechnics. *New technologies in construction*, 33/1, 41-52.
14. Sliusarenko, Yu.S., Tytarenko, O.M., Melashenko, Yu.B., & Shuminskiy, V.D. (2018). Regulatory framework of Ukraine for the design of buildings and structures bases and foundations. Current state and development prospects. *Bulletin of Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 72, 162-170.
15. Engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and collapses. Main principles: DBN V.1.1-46:2017. (2017). Retrieved from: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfdmadadm/https://kga.gov.ua/dp.kga.gov.ua/images/files/9DBN_B.1.1-3-97.pdf
16. Scientific and technical support of construction projects: DBN V.1.2-5:2007. (2008).
17. Construction in the restrained development conditions. Safety requirements: DBN V.1.2-12-2008. (2009).
18. General principles for reliability and constructive safety ensuring of buildings and civil engineering works: DBN V.1.2-14:2018. (2019).
19. Guidance on scientific and technical monitoring of buildings and structures: DSTU-N B V.1.2-17:2016. (2017).
20. 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. In: Sassa, K. et al. (Eds.) *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. (Vol. 1). Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6_37
21. 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. Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides (Kiryu, Japan). Springer-Verlag, Berlin, Germany.
22. Trofymchuk, O., Kaliukh, Yu., Dunin, V., & Berchun, Y. (2018). On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. *Cybernetics and Systems Analysis*, 54, 600–609. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9>
 23. 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.
 24. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Berchun, V. ((2017). Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from Autonomic Republic of Crimea. Proceedings of the WLF4. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
 25. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Polevetskiy, V., Silchenko, K., Kaliukh, T., & Khavkin, K. (2013). Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforce-concrete constructions for defense from landslide's pressure in seismic regions of Ukraine. Proceedings of the Fib Symposium (Tel-Aviv, Israel).
 26. Slyusarenko Yu.S., Ishchenko, Yu.I., Melashenko, Yu.B., Yakovenko, M.S., & Ben, O.V. (2020). Geotechnical monitoring in the restrained urban conditions. *Science and Construction*, 3, 13-25.
 27. Slyusarenko, Yu., Tytarenko, V., Shumin-skiy, V., & Vynnykov Y. (2018). Designing of buildings and structures at land sliding and slide hazardous segments of slopes. *Academic Journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2 (51), 124-131. DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2018.51.1303>
 28. Farenjuk, G.G., Kaliukh, Yu.I., & Ishchenko, Yu.I. (2020). The "green building" concept and its application in the geotechnical structures design and calculation. *Science and Construction*, 2, 19-43.
 29. Annex G. Standard of the organization СП 441.1325800.2019. Retrieved from: <https://docs.cntd.ru/document/554818817>

Стаття надійшла до редакції 25.05.2021 року