

ВІДГУК

офіційного опонента

Стефанишина Дмитра Володимировича

провідного наукового співробітника Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, доктора технічних наук, доцента,
на дисертаційну роботу

Дворника Антона Миколайовича

на тему **«Зміна напружено-деформованого стану основи при динамічних впливах від метрополітену»**,

подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.02 – «Основи і фундаменти»

Актуальність теми дослідження. Дефіцит земельних ресурсів в межах урбанізованих територій призводить до того, що будівництво та експлуатація будівель та споруд ведеться в умовах ущільненої міської забудови, на територіях, що підлягають різним техногенним впливам, зокрема, динамічним – від роботи міського транспорту. Метрополітен є одним з найпопулярніших видів міського транспорту в великих містах, але як і будь який інший рейковий транспорт, є джерелом інтенсивних додаткових вібрацій, які передаються через ґрунт на розташовані поруч будівлі і споруди. У разі наближення цих вібрацій до частоти власних коливань облицювання тунелю метро, вібраційний вплив на навколишнє ґрунтове середовище може посилюватись незалежно від фільтруючих властивостей ґрунту та наявності демпферів; робочий діапазон частот вібраційних впливів на навколишнє середовище від метрополітену може знаходитися в діапазоні 20-70 Гц. Характерною особливістю цього діапазону є те, що частота власних коливань перекриття більшості будівель в містах теж знаходиться в даних межах. Поблизу трас метрополітену неглибокого закладання, що активно розвивається у великих містах, в тому числі і в Україні, інтенсивність коливань ґрунту може відповідати 6-7 бальному землетрусу. При цьому величини низькочастотних складових динамічних навантажень від транспорту часто також наближаються до частот власних коливань будівель та конструкцій і знаходяться в межах 2-8 Гц. В результаті, в зоні впливу метрополітену іноді спостерігаються додаткові осідання будівель до 150 мм.

Розрахунки з визначення напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтових основ будівель є обов'язковою вимогою будівельних норм. Втім, натепер все ще відсутні ефективні методи та методики розрахунків з визначення НДС основ будівель та споруд з врахуванням різних динамічних впливів, зокрема, техногенного походження від метрополітену неглибокого закладання, на ґрунтові умови основ будівель і споруд міської забудови на різних стадіях їх

життєвого циклу, що часто призводить до прийняття невдалих інженерних рішень, які не гарантують достатню несучу здатність як існуючих будівель, так і новобудов, або є економічно не вигідними. В зв'язку з цим розробка прикладних методів та методик розрахунку НДС ґрунтових основ з врахуванням його змін при постійно діючих динамічних навантаженнях від метрополітену неглибокого закладання є на сьогодні актуальним, соціально-значимим завданням. Тому тема дисертаційної роботи Дворника Антона Миколайовича, яка присвячена дослідженням проблем зміни напружено-деформованого стану основ при динамічних впливах від метрополітену в умовах ущільненої міської забудови, є безумовно актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їхня достовірність. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації повною мірою є обґрунтованими, оскільки вони ґрунтуються на законах будівельної механіки і геотехніки, на застосуванні апробованих практикою моделей ґрунту, розрахункових схем та методів розрахунку НДС системи «основа – фундамент – метрополітен», параметричній ідентифікації математичних моделей досліджуваних об'єктів за даними натурних спостережень, чисельному моделюванні з використанням сертифікованих та апробованих практикою програмних комплексів з наступною верифікацією отриманих результатів на основі даних натурних та експериментальних досліджень; логічно випливають із результатів натурних та експериментальних вібраційних досліджень з використанням сучасних методів та відкаліброваної та сертифікованої віброметричної апаратури з відповідним їх аналізом та оцінкою похибки натурних та експериментальних даних; забезпечені задовільною відповідністю результатів чисельних і натурних (експериментальних) досліджень.

Отримані автором результати досліджень викладаються у логічній послідовності від отримання теоретичних результатів, положень і висновків до їхньої верифікації в ході експериментальних (натурних) досліджень, що зумовлює високу їх достовірність. Висока ступінь достовірності отриманих автором результатів та висновків забезпечуються також глибоким аналізом літературних джерел вітчизняних та зарубіжних авторів з проблем, що досліджуються. В цілому, зміст дисертації, автореферату та перелік опублікованих праць автора дозволяє зробити висновок, що положення й отримані результати, які характеризуються науковою новизною, мають високий рівень обґрунтованості і достовірності. Доцільно вибрані мета, об'єкт і предмет досліджень, а також методи та задачі досліджень, забезпечили цілісний розгляд

проблеми, отримання нових наукових результатів та розробку рекомендацій та конкретних пропозицій щодо застосування їх на практиці.

Наукова новизна дисертаційної роботи. Висновки, що приводяться в дисертації і стосуються отриманих наукових і практичних результатів, безпосередньо і в повній мірі відображають наукову новизну положень та розроблених автором методів, моделей та методик. Завдяки ним автору вдалося реалізувати мету дослідження та розв'язати поставлені задачі досліджень.

Наукова новизна запропонованих положень та отриманих результатів полягає в наступному:

- *уперше* запропоновано нову гібридну теоретико-методологічну концепцію Інтернету речей – IoT (Internet of Things), системи підтримки прийняття рішень – DSS (Decision Support System) та сховища даних – DW (Data Warehouse) в геотехніці;

- *уперше* розроблено комплексну прикладну методику оцінки зміни НДС основи при динамічних впливах від метрополітену в умовах щільної міської забудови, яка включає два блоки: експериментальний блок (1) – крайові (початкові та граничні) умови для теоретично-розрахункового блоку (2);

- *отримала подальшого розвитку* прикладна, інженерно спрямована, методика експериментальних досліджень динамічних впливів від метрополітену в умовах щільної забудови;

- *отримало подальший розвиток* математичне моделювання на базі методу скінченних елементів (МСЕ) зміни НДС основ будівель та споруд з урахуванням результатів експериментальних вимірів динамічних впливів від руху потягів метрополітену в умовах ущільненої міської забудови на прикладі двох об'єктів в м. Києві (досліджені об'єкти розташовуються безпосередньо над лініями метрополітену неглибокого закладання).

Значення одержаних результатів для науки і практики. Науково-практична значимість одержаних автором результатів обумовлюється тим, що їх було отримано під час виконання роботи, яка є складовою системних досліджень, що проводилися в 2014-2020 р. р. у відділенні досліджень технічного стану будівель та споруд при небезпечних геологічних процесах ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) в межах науково-дослідних робіт з розробки та удосконалення державних будівельних норм та стандартів, зокрема ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення» (на заміну ДБН В.2.1-10-2009). Автором розроблено і запропоновано нову комплексну прикладну методику оцінки зміни НДС основи при динамічних впливах від

метрополітену в умовах щільної міської забудови, яка дозволяє запобігати ґрунтовим порушенням та катастрофам будівель і споруд, розташованих безпосередньо в зоні впливу транспортної вібрації від метрополітену. Отримані автором результати було впроваджено в ДСТУ-Н Б В.1.1-39:2016 «Настанова щодо інженерної підготовки ґрунтової основи споруд» – (в Розділі 8. Інженерна підготовка основи при динамічних впливах) та ДСТУ-Н Б В.1.1-41:2016 «Настанова щодо проектування споруд на закарстованих територіях» – (викладено окремі принципи виконання моніторингу стану основ та будівель). Результати роботи також було використано при розробці практичних рекомендацій та технічних рішень з підсилення фундаментів та надземних конструкцій будівлі «Гостиного двору» в м. Києві в рамках науково-технічного супроводу реконструкції в 2011-2013 рр. та при проведенні робіт з оцінки технічного стану будівлі ТРЦ «Оазис» та станції «Героїв Дніпра» в рамках підготовки експертного висновку щодо забезпечення надійної і безпечної експлуатації в 2018-2019 рр.

Повнота викладу результатів дослідження в опублікованих працях. Отримані автором наукові результати опубліковано в 13 роботах, з яких 10 статей – у спеціалізованих фахових виданнях України, що входять до переліку МОН України. Дві роботи проіндексовано в наукометричній базі даних Index Copernicus, одну роботу, яка опублікована в матеріалах міжнародної науково-технічної конференції, проіндексовано в наукометричній базі даних Scopus. Без співавторів опубліковано дві фахові статті. Основні результати дисертаційного дослідження отримані автором самостійно. Особистий внесок здобувача в працях, опублікованих у співавторстві, полягає у формулюванні мети і постановці завдань досліджень; аналізі сучасного досвіду та проблем експериментальних досліджень динамічних властивостей ґрунтів, а також існуючих методик дослідження технічного стану споруд, що функціонують в умовах небезпечних геологічних процесів; аналізі методів розрахунків деформацій ґрунтів при динамічних впливах; в моделюванні функціонування системи «основа-фундамент-надземна частина» з використанням методу скінченних елементів та методу змінних коефіцієнтів жорсткості основи, і порівнянні результатів розрахунків з даними геодезичного моніторингу, зокрема в особистій участі в практичних дослідженнях будівлі «Гостиного двору» на Контрактівій площі в м. Києві, що виконувалися в рамках науково-технічного супроводу її реконструкції, та обробці отриманих результатів.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, складається зі вступу, чотирьох розділів,

висновків, списку використаних джерел, додатку. Загальний обсяг дисертації становить 170 сторінок, обсяг основного тексту – 133 сторінки. Робота містить 14 таблиць, 73 рисунки, 1 додаток на 3 сторінках. Список використаних джерел складається з 88 найменувань.

У вступі дається коротка характеристика роботи: обґрунтовується актуальність теми дослідження; вказується на його зв'язок із науковими напрямками досліджень ДП НДБК; формулюються мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження; показано методи, що використовувалися при дослідженні; розкрито наукову новизну і практичну цінність дисертаційної роботи; наведено дані про публікації за темою дослідження та дані про особистий внесок здобувача; наведено характеристику публікацій і дані про апробацію результатів дослідження.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан питання та основні передумови дослідження зміни НДС основи при динамічних впливах від метрополітену в умовах щільної міської забудови. Виконано критичний огляд літературних джерел з проблем дослідження динамічних навантажень та їх впливу на надійність і довговічність будівель і споруд; фізико-механічних властивостей ґрунтів основ; математичних моделей та методів розрахунку основ будівель і споруд; інструментальних методів та засобів оцінки динамічних впливів. Висвітлено внесок у вирішення піднятої проблеми відомих вітчизняних і зарубіжних вчених. За результатами проведеного огляду зроблено висновки та поставлено і обґрунтовано задачі досліджень.

У другому розділі представлено методику оцінки зміни НДС при динамічних впливах за даними on-line моніторингу, в основу якої покладено нову гібридну теоретико-методологічну концепцію Інтернету речей – IoT (Internet of Things), системи підтримки прийняття рішень – DSS (Decision Support System) та сховища даних – DW (Data Warehouse) в геотехніці. Ця концепція розглядається як логічний розвиток та поглиблення науково-технічного супроводу будівельних об'єктів з метою запобігання та попередження ґрунтових аварій у майбутньому. Її застосування дозволяє відслідковувати еволюцію НДС основ будівель та споруд шляхом цілеспрямованого накопичення, обробки та використання первісної інформації про поточний стан ґрунтів та будівельних конструкцій за допомогою сучасних хмарних технологій Інтернету речей – IoT (Internet of Things), які забезпечують надійне збереження та попередню обробку актуальних даних, у поєднанні з високочутливими сенсорами (датчиками), які забезпечують їх збір. В результаті забезпечується уточнене картографування зон небезпеки в основах будівель і споруд (осідань, зсувів та ін.), що дозволяє оперативно оцінювати їх руйнівний потенціал, прогнозувати негативні зміни та відповідно реагувати на них, що

здійснюється за допомогою системи підтримки прийняття рішень – DSS (Decision Support System). Автоматизація обробки й аналізу накопиченої в сховищі даних (DW, Data Warehouse) інформації в процесі підтримки прийняття рішень виконується за допомогою сучасних математично-інформаційних методів штучного інтелекту (нейронних мереж та систем розпізнавання образів). Це уможливорює вироблення різних сценаріїв управлінських рішень – від розробки технічних рішень для підтримки належного технічного стану будівлі чи споруди до удосконалення систем геотехнічного моніторингу та моніторингу технічного стану будівель і споруд.

По суті представлена концепція повноцінно реалізує всі три аксіоматичні принципи технічної діагностики та контролю стану технічних систем та об'єктів, які були сформульовані Ральфом Коллакотом, а саме: 1) послідовність й систематичність (неперервність або регулярність) вимірювань (моніторинг) параметрів й ознак, обраних в якості діагностичних; 2) виявлення змін в поведінці цих параметрів й ознак в часі; 3) прогнозування майбутніх станів об'єкта діагностування з врахуванням цих змін. Для її практичної реалізації розроблено відповідний алгоритм дослідження зміни НДС основи будівлі при динамічних впливах, який окрім програми первинного дослідження об'єкта включає: чисельне моделювання його НДС при статичних навантаженнях; експериментальні (натурні) дослідження параметрів вібрацій, метою якого є отримання крайових умов для подальшого адекватного моделювання системи «основа – фундамент – метрополітен»; синтез розрахункових акселерограм, що будуть використані для виконання подальших розрахунків прямим динамічним методом; чисельне моделювання НДС об'єкта при динамічних навантаженнях з верифікацією отриманих результатів; оцінку поточного технічного стану будівлі та прогноз його зміни; удосконалення системи моніторингу.

В другому розділі також представлено авторську методику виконання експериментальних (натурних) вібродинамічних обстежень. Розглянуто різні моделі поведінки ґрунту, методи задання демпфірування для меж моделей та обґрунтовано їх застосування, а також запропоновано сучасні інструменти чисельних розрахунків і програмні комплекси, які дозволяють врахувати особливості моделювання НДС системи «основа-фундамент» при динамічних навантаженнях від метрополітену з використанням методу скінченних елементів та прямого динамічного методу розрахунку на основі акселерограм. Наведено результати порівняльних розрахунків НДС з використанням розрахункових комплексів PLAXIS та MIDAS GTS NX.

У третьому розділі наведено результати натурних динамічних досліджень за допомогою багатоканальних систем сейсмомоніторингу. Дослідження виконувалися на прикладі двох об'єктів в м. Києві, що

розташовуються безпосередньо над лініями метрополітену неглибокого закладання. Перший з них – це будівля ТРЦ «Оазис», яку було збудовано над станцією метрополітену «Героїв Дніпра» у 2020 р. Другий об'єкт – це будівля «Гостиного двору», пам'ятка містобудування і архітектури, яку було зведено в кінці 80-х років минулого століття на незначних окремих фрагментах старих фундаментів споруди 1809 р. Тунелі метро, діаметром 5,4 м, розміщено на відстані 4,5 м один від одного і на глибині 1,1 м від подошви фундаментів. За участю автора дисертації виконувався науково-технічний супровід робіт, пов'язаних з проектуванням, будівництвом, та реконструкцією (у випадку «Гостиного двору») цих об'єктів. Динамічні обстеження на поверхні ґрунту, перекриття та несних балок ТРЦ, конструкцій фундаменту, платформи станції метрополітену «Героїв Дніпра» виконувалось двічі: у 2016 р. на етапі влаштування пальових фундаментів ТРЦ, та у 2019 р. на етапі закінчення будівництва. Досліджувалися впливи від потягів метро, автотранспорту, бурової установки, обладнання ТРЦ з динамічними навантаженнями (у тому числі від дахових вентиляторів системи пиловидалення). Динамічні обстеження ґрунту, фундаменту та несних конструкцій будівлі «Гостиний двір» проводилися з врахуванням впливів автотранспорту, роботи будівельної техніки та руху потягів метрополітену. За результатами обробки натурних даних щодо прискорень було визначено максимальні амплітуди вертикального і горизонтального віброприскорення обстежених конструкцій та підготовлено набори акселерограм для виконання подальших розрахунків системи «основа – фундамент» прямим динамічним методом.

У четвертому розділі наведено результати математичного моделювання НДС системи «основа – фундамент – метрополітен» з використанням програмного комплексу Midas GTS NX, що реалізує метод скінченних елементів (МСЕ). При розробці чисельної моделі проводилась її параметрична ідентифікація та наступна її верифікація за результатами вібродинамічних досліджень на об'єктах. При параметричній ідентифікації чисельної моделі коригувались динамічні характеристики ґрунтів, масштабний коефіцієнт для динамічних навантажень та параметри демпфірування матеріалів. В процесі верифікації моделі для приведення результатів моделювання у відповідність з вібродинамічними дослідженнями коригувались параметри навантаження на колії метро, з тим щоб досягнути розходження результатів розрахунку з результатами натурних випробувань не більше 15%. Зокрема, цими дослідженнями було виявлено, що актуальні динамічні навантаження перевищують розрахункові, що може пов'язуватися зі зношеністю рейок, колісних пар, наявністю стрілкових переходів, розгалужень, ефектами від прискорення та гальмування потягів тощо.

Результати проведеного математичного моделювання НДС системи «основа – фундамент – метрополітен» досліджуваних об'єктів показали, що кожному поєднанню інженерно-геологічних умов майданчика та особливостям прикладання динамічного навантаження відповідає власна крива загасання коливань з відстанню від джерела. При цьому фіксуються зміни НДС основи, які можуть призвести до додаткових нерівномірних деформацій та погіршення технічного стану будівель, розташованих в зоні впливу метрополітену. Для прогнозу реакції основи на розрахункові динамічні впливи та прогнозу деформацій рекомендується виконувати додаткові дослідження динамічної стійкості ґрунтів на динамічні впливи з параметрами, що відповідають результатам натурних вібродинамічних обстежень та моделювання.

Оформлення дисертації та автореферату, ідентичність автореферату основним положенням дисертації, відповідність дисертації обраній спеціальності. Результати досліджень подано на високому науково-методичному рівні, логічно, послідовно і доказово. Дисертаційну роботу і автореферат оформлено у повній відповідності до вимог, рекомендованих Міністерством освіти і науки України. Дисертація та автореферат містять необхідні ілюстрації та табличні дані для належного сприйняття результатів досліджень і повністю відображають сутність досліджень. Текст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи, а дисертація – паспорту спеціальності 05.23.02 – «Основи і фундаменти».

Зауваження до дисертації. Слід зазначити, що результати досліджень, які проводилися автором тривалий час, впроваджувалися в державні будівельні норми та стандарти. Зокрема їх використано в ДСТУ-Н Б В.1.1-39:2016 «Настанова щодо інженерної підготовки ґрунтової основи споруд» та ДСТУ-Н Б В.1.1-41:2016 «Настанова щодо проектування споруд на закарстованих територіях», що свідчить про високу їх якість. Втім до дисертаційної роботи є кілька запитань і зауважень.

1. При розв'язанні окремих задач не достатньо чітко виділено крайові умови: початкові і граничні.

2. Серед задач, які розв'язує автор, є задачі параметричної ідентифікації, коли за даними натурних і експериментальних спостережень уточнюються параметри (коефіцієнти) математичної моделі і далі вже проводяться розрахунки, результати яких мають підлягати верифікації. В дослідженні автора ідентифікації можуть підлягати динамічні характеристики ґрунтів, масштабний коефіцієнт для динамічних навантажень, параметри демпфірування матеріалів. Автор відносить ці задачі до задач верифікації

математичної моделі. При цьому, якщо використовується ліцензований програмний комплекс, то чисельна модель вже верифікована і верифікації можуть підлягати лише отримані результати.

3. Чи може, а якщо може, то яким чином, на думку автора, проявлятиметься спільна дія вібродинамічних навантажень на досліджувані об'єкти від різних джерел (наземного автомобільного та рейкового транспорту, будівельних механізмів, метрополітену)?

4. На стор. 96 і 106 вказується на «можливість механічної суфозії пилуватих частинок ґрунтів основи під дією динамічних впливів ...». За результатами яких досліджень чи за якими критеріями вона встановлювалася?

5. На стор. 108 вказано, що на ділянці будівлі «Гостиного двору» «Зафіксовані глибини залягання рівня ґрунтових вод (РГВ) коливаються від 4,85 до 7,1 метра». Тобто РГВ змінюються на 2,25 м. І що «Відмітки РГВ змінюються, відповідно, від 98,75 до 96,30 м». Тут зміна РГВ складає 2,45 м. Як пояснити цю відмінність?

6. Якщо рух потягів метро і наземного рейкового транспорту здійснюється по звичайній (не віброізолюваній) колії, то чи не варто в якості можливих альтернатив при прийнятті рішень розглядати варіанти віброізоляції? За яких умов ці варіанти могли б бути виправдані?

7. В тексті дисертації подекуди зустрічаються неоднозначності, стилістичні, орфографічні та технічні помилки. Наприклад, незрозуміло, що саме автор має на увазі щодо «фільтрувальних властивостей ґрунту» на стор. 17; деякі формули неналежно оформлено (стор. 38, 41); мова скоріше йде про сітку скінчених а не «кінцевих» елементів (стор. 73); вибирається крок за часом, а не «тимчасовий крок» (стор. 77).

Втім, поставлені запитання до автора та зроблені зауваження жодним чином не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

Загальна оцінка дисертації та загальний висновок. Дисертація, представлена Дворником Антоном Миколайовичем, є цілісним, завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням. Результати дослідження мають наукову і практичну цінність та заслуговують позитивної оцінки.

Структура і об'єм тексту дисертації та автореферату відповідають встановленим для кандидатських дисертацій вимогам. Плагіату в представленій роботі не виявлено.

Дисертаційна робота Дворника Антона Миколайовича «Зміна напружено-деформованого стану основи при динамічних впливах від метрополітену» за актуальністю обраної теми, структурою, обсягом, рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення поставлених наукових та практичних задач,

новизною і обґрунтованістю отриманих при дослідженні результатів, практичних висновків та рекомендацій, а також за всіма іншими формальними ознаками включно щодо оформлення відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Дисертація відповідає чинним вимогам стосовно кандидатських дисертацій (пункти 11, 12, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань») та вимогам МОН України, а її автор, здобувач Дворник Антон Миколайович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.02 – Основи і фундаменти.

Офіційний опонент:
провідний науковий співробітник
Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору
НАН України, м. Київ,
доктор технічних наук, доцент

Д. В. Стефанишин

Підпис Д. В. Стефанишина засвідчую:

Вчений секретар
Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору
НАН України, м. Київ,
кандидат технічних наук, с. н. с



В.І. Клименко

