



ВІДГУК

офиційного опонента на дисертаційну роботу Дворника Антона Миколайовича
“Зміна напруженно-деформованого стану основи при динамічних впливах від метрополітену”,
представленої на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук
по спеціальності 05.23.02 - основи і фундаменти.

На відгук представлено дисертаційну роботу, яка викладена на 170 сторінках, у тому числі: 133 стор. основного тексту, 10 стор. списку використаних джерел з 88 найменувань, 4 стор. додатків, містить 73 рисунків і 14 таблиць. Текст складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатку.

Актуальність теми Науково-технічні дослідження в Україні в галузі оцінки НДС ґрунтових основ під дією динамічних навантажень та при взаємодії з конструкціями фундаментів споруд в даний час, навіть за вимогами ДБН, обмежені використанням для унікальних споруд або за спеціальними замовленнями. Залишається необхідність подібних розрахунків при техногенних промислових, сейсмічних та транспортних динамічних діях. В містах з лініями метрополітену за складних інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов існує проблема осідання споруд (особливо унікальних чи в складі комплексів щільної забудови) від руху поїздів метрополітену на лініях неглибокого закладання та інших динамічних дій.

Для оцінки міцності, стійкості та надійності будівельних об'єктів під впливом статичних, кінематичних та динамічних навантажень результати натурних досліджень поєднуються з можливостями комп'ютерних програмних комплексів. Розвиток методів автоматизації будівельних розрахунків призвів до створення програмних комплексів для комп'ютерів з використанням інженерних моделей споруд, ґрунтового середовища, визначення для таких моделей адекватних розподілів навантажень та врахування контактних умов.

При цьому необхідно передавати та накопичувати значні масиви числових натурних даних (характеристики ґрунтового середовища, показники осідання, числові значення параметрів коливань), що отримуються на будівельних об'єктах з використанням сучасних вимірювальних засобів, аналізувати, обробляти та узагальнювати їх результати. Виходячи з цього, необхідно продовжувати розвиток науково обґрунтованих методик оцінки НДС з використанням сучасних методів натурних спостережень та моніторингу, збереження даних та їх аналізу, підготовці початкових умов для числового моделювання та фіксації проміжних станів для моніторингу.

Темою дисертаційної роботи А. М. Дворника є оцінка НДС системи «основа-фундамент-споруда» (ОФС) під дією транспортних динамічних навантажень в умовах ущільненої міської забудови, з врахуванням складної форми та структури ґрунтового масиву та будівель. Поставлено задачу синтезувати комплекси натурних досліджень та розрахункових методик для забезпечення експлуатаційної надійності двох об'єктів у м. Києві: будівлі ТРЦ «Оазис» на станції метрополітену «Героїв Дніпра» та споруди Гостиний Двір над лінією метрополітену мілкого закладення.

Отримання нових уточнених моделей і методів оцінки НДС споруд з динамічними навантаженнями є важливою науково-технічною задачею. Вказане вище обґрунтовує актуальність і своєчасність досліджень А. М. Дворника, представлених у дисертації. Вони виконані у ДП НДІБК, у відділенні досліджень технічного стану будівель та споруд при небезпечних

геологічних процесах на протязі 2014-2020 рр. Актуальність теми підкреслюється впровадженням результатів на двох складних об'єктах, участі автора в розробках нормативних документів України в галузі розрахунку та проектування основи споруд: ДСТУ-Н Б В.1.1-39:2016 та ДСТУ-Н Б В.1.1-41:2016. Здобувач є співвиконавцем по держбюджетній темі з розробки ДБН В.2.1-10:2018 з ДР № 0116U008880.

Тема дисертаційної роботи А. М. Дворника є актуальною і відповідає напрямкам 1, 3, 6 паспорта спеціальності «Основи та фундаменти».

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації забезпечується: порівняльним аналізом науково-технічних досліджень в галузі розрахунків міцності та надійності споруд та їх грунтових основ при дії динамічних навантажень в зоні руху пойздів метрополітену, відповідністю результатів проведених натурних, експериментальних і розрахункових досліджень та підтвердженням фізичним змістом явищ, що розглядаються. Додаткове засвідчення висновків, згідно висунутим рекомендаціям, потребує в подальшому постійного моніторингу об'єктів, яким присвячена дисертаційна робота. Здобувач є співавтором низки документів нормативної бази України в галузі проектування та розрахунку грунтових основ будівельних споруд.

Достовірність і наукова новизна проведених досліджень.

Достовірність забезпечується застосуванням повірених засобів вимірювання та сучасних методик обробки та зберігання результатів вимірювань, виконано порівняльне тестування програмних засобів моделювання, проведена верифікація параметрів числових моделей на основі натурних досліджень.

Наукова новизна дисертаційної роботи відповідає формулюванням здобувача і полягає в наступному:

- отримала подальшого розвитку нова нова гіbridна теоретико-методологічна концепція Інтернету речей IoT, системи підтримки прийняття рішень DSS та сховища даних DW для систем геотехнічного моніторингу;

- уперше розроблено комплексну прикладну методику оцінки зміни деформованого стану грунтової основи при динамічних впливах від метрополітену в умовах ущільненої міської забудови, яка включає експериментальний блок для визначення початкових граничних умов - динамічних навантажень у розрахунковому блоці;

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

- отримало подальшого розвитку математичне моделювання на базі МСЕ зміни НДС основи будівель та споруд з урахуванням результатів натурних вимірювань динамічних впливів від руху потягів метрополітену в умовах ущільненої міської забудови для двох об'єктів в м. Києві, розташованих безпосередньо над лініями метрополітену неглибокого закладання.

Повнота відображення основних положень дисертації в опублікованих роботах. По темі дисертації опубліковано 13 друкованих робіт, з яких 10 статей – у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку МОН України (з них 2 без співавторів), 2 роботи проіндексовані в наукометричній базі даних Index Copernicus, 1 робота опублікована в матеріалах міжнародної науково-технічної конференції, що проіндексована в наукометричній базі SCOPUS.

Основні результати дисертаційної роботи було представлено на 2-х українських та міжнародних науково-технічних конференціях.

Особиста участь автора в дослідженнях підтверджена у Витязі з протоколу розширеного науково-технічного семінару відділення досліджень технічного стану будівель, споруд при небезпечних геологічних процесах, відділу сейсмостійкості будівель та споруд і відділу основ і фундаментів та захисту територій, будівель і споруд від деформацій в складних інженерно-геологічних умовах ДП НДІБК від 9 липня 2021 р.

Ідентичність автореферату основним положенням дисертації. Автореферат відповідає змісту дисертації та виконаний за правилами його оформлення, написаний державною мовою, наукові та практичні досягнення автора описано та проілюстровано графічним та табличним матеріалом достатньо повно і зрозуміло.

Аналіз змісту дисертації.

УДК та назва роботи відповідають її змісту.

В **Анотації** українською та англійською мовами викладено бібліографічні дані, зміст роботи та ключові слова.

Наведено **Список публікацій здобувача** по темі дисертаційної роботи з 13 найменувань, Далі наведено **Зміст та Перелік скорочень**.

У **Вступі** представлено загальну характеристику роботи за стандартною схемою. Охарактеризовано частотний діапазон та тривалість вібрацій в основі будівель та споруд внаслідок транспортних навантажень від ліній метро неглибокого закладання з врахуванням ґрунтових умов.

Розділ 1 Огляд літератури та постановка завдань досліджень починається з опису реальних прикладів ускладнення геотехнічної ситуації поблизу ліній метро неглибокого закладення в м. Києві в умовах ущільненої міської забудови; осідання водонасичених ґрунтів внаслідок транспортних вібрацій та ін.

Описано випадок виконання динамічних обстежень з використанням віброметричної апаратури, засобів обробки результатів за схемою вибору точок реєстрації коливань в околі станції метро Лівобережна. Визначено діапазони частот коливань ґрунту та конструкцій будівель, величина віброприскорень. Інші приклади стосуються подій аварійного поєднання промислових та транспортних навантажень з послабленням чи водонасиченням ґрунтових масивів. Охарактеризовано частотний діапазон джерел динамічних впливів (від 2 Гц до 200 Гц). Це віброзанурення паль, промислові вибухи, рух транспорту. Постійною проблемою є вплив вібрацій на людський організм.

Описано характерні пошкодження будівель від динамічних впливів та змін гідрогеологічного режиму території. Відзначено хвильовий характер розповсюдження коливань від джерел до об'єктів впливу, тому необхідно враховувати ефекти шаруватості та інші випадки відбиття пружних хвиль.

Розглянуто фактори, що впливають на амплітудно-частотні характеристики рухомого транспорту, вплив динамічних навантажень на фізико-механічні характеристики ґрунтів.

Окремо докладно розглянуто динамічні характеристики ґрунтів, основні наслідки динамічних впливів на ґрутове середовище для різних типів ґрунтів. Проаналізовано результати основних експериментальних досліджень динаміки ґрутового середовища в СРСР та Україні.

Проаналізовано зміст основних нормативних документів України ДБН В.2.3-7-2003, ДБН В.2.1-10-2009 (оновлення ДБН В.2.1-10:2018), ДБН В.1.1-12-2014 та подібних документів інших країн та Євросоюзу.

Автор зробив висновки, що оскільки в Україні методики визначення динамічних властивостей ґрунтів в нормативних документах відсутні, необхідно визначити перелік та методи цих досліджень, а також забезпечити їх відповідною нормативною та випробувальною базою.. Доцільно узагальнити результати теоретичних і натурних досліджень для побудови розрахункових схем, збору навантажень, включаючи динамічні, та врахування інженерно-геологічних особливостей ґрутових масивів, для застосування числового моделювання системи ОФС засобами сучасних геотехнічних та загальнобудівельних програмних засобів з широким вибором моделей ґрутового середовища в ситуації ущільненої міської забудови та ризиків ґрутових аварій. Натурні виміри динамічних навантажень та параметрів коливань є початковими граничними умовами для вирішення задачі з визначення НДС системи ОФС.

Поставлено задачі дисертаційної роботи.

В розділі 2 Методика оцінки зміни НДС основи при динамічних впливах, інструментальні методи та математичні моделі здобувач згідно вимог нормативної і проєктної документації та умов збереження експлуатаційних властивостей об'єктів впродовж їх життєвого циклу представив перелік робіт з комплексного дослідження технічного стану об'єктів, оцінки НДС їх елементів. Підкреслено, що при моніторингу досліджуваних об'єктів необхідно виконувати спостереження параметрів у встановленому режимі для відстеження зміни НДС. Описано основну структуру систем реєстрації та накопичення інформації. Представлена концепція системи раннього попередження EWS для будівельних об'єктів, що полягає у відстеженні ступеня та швидкості зміни технічного стану та своєчасного прийняття превентивних заходів у випадку небезпеки руйнування.

Наведено перелік документів ДБН, як внесок ДП НДІБК в розвиток нормативно-методичного забезпечення і практичній реалізації моніторингових систем. Системи моніторингу будівельних об'єктів повинні забезпечувати багаторівневість виконуваних функцій і структури моніторингових досліджень, що включає вибір критеріїв діагностики, засобів технічного діагностування та методів обробки отриманої інформації, засобів тестування систем моніторингу в режимі реального часу, концентрації діагностичної інформації у вигляді відповідної бази даних.

Автором запропоновано використовувати гібридну концепцію IoT, DSS та DW в геотехніці. IoT має забезпечувати збір числових даних з різного типу датчиків в режимах on-line та off-line та іх зберігання засобами DW за відповідними правилами ранжування та зберігання інформації. У геотехнічній DSS накопичена інформація необхідним чином трансформується та узагальнюється завдяки штучному інтелекту та нейронним мережам. Останнє допомагає виробленню різних сценаріїв управлінських рішень.

Описано структуру та апаратний склад систем для відстеження деформаційних процесів, що виникають в тримальних конструкціях будівель і споруд в режимі on-line.

Перелічено ряд інших факторів (зокрема, динамічні дії), які реєструються при виконанні нового будівництва в умовах щільної забудови і можуть створити ризик ушкодження або порушення нормальної експлуатації будинків, що вже існують. Представлено докладний перелік основних робіт на підготовчому та робочому етапах геотехнічного моніторингу за допомогою IoT.

Запропоновано алгоритм дослідження НДС системи ОФС в умовах динамічних впливів від метрополітену із застосуванням гібридної концепції IoT, DSS та DW. Помітним результатом є отримання розрахункових акселерограм в певних областях розрахункової схеми для використання в складі початкових умов для виконання розрахунків НДС прямим динамічним методом. Важливим етапом тестування складної чисової моделі представляється перевірка на адекватність реальному об'єкту на рівні допустимої розбіжності між величинами інтегральних характеристик натурних вібродинамічних вимірювань і отриманих для чисової моделі.

В параграфі 2.2 викладено методику проведення вібродинамічних обстежень тримальних конструкцій споруд та ґрунтової основи, склад комплекту апаратури. Вібросигнали вимірюються в заданих точках в трьох ортогональних напрямках; визначаються параметри вібрації від різних джерел, екстремальні значення та переважні частоти коливань. Зазначено, що для ґрунтової основи враховуються параметри джерела вібрації, відстань до нього, реальні інженерно-геологічні умови майданчика, наявні перешкоди розповсюдження хвиль в умовах щільної міської забудови тощо.

Розглянуто відомі моделі для динамічних розрахунків НДС ґрунтової основи автомобільних доріг та рейкових шляхів різних типів. Представлено різні інженерні формули стосовно розповсюдження та загасання коливань. Заявлено про необхідність використання при моделюванні сучасного програмного комплексу Midas GTS NX, що завдяки переліченим перевагам дозволить врахувати динамічні та статичні навантаження на споруди в умовах щільної міської

забудови з розвиненою підземною частиною; інженерно-геологічні умови майданчика зі складним нашаруванням ґрунтів.

Виконано порівняльний аналіз збіжності результатів розрахунків двох програмних комплексів PLAXIS та MIDAS GTS NX на прикладі розрахунку впливу на масив ґрунту, круглого в плані вагомого штампа (імітація без врахування як нелінійності розподілу контактних тисків під підошвою у тому числі і горизонтальних, так і зсуву фаз між вертикальними силами та переміщенням) при вимушених гармонічних коливаннях заданої частоти під впливом вібратора необмеженої потужності. Модель ґрунту, як свідчать параметри моделювання – пружнопластичний півпростір (ґрутове середовище - дренований супісок). Розбіжність результатів не перевищує 7 % для значень максимальних прискорень та 11 % по параметрах затухання коливань що вважається прийнятним. Порівняння з експериментальними результатами, на мій погляд, неможливе через нереалізованість подібного натурного експерименту. Висновку про переваги якогось з двох ПК не зроблено.

В третьому розділі *Експериментальні дослідження об'єктів над лініями метро у м. Києві* наведено методики та результати натурних експериментальних досліджень для двох об'єктів, що розташовані безпосередньо над лініями метрополітену мілкого закладання. Перший - будівля ТРЦ «Оазис», що збудована над станцією метрополітену «Героїв Дніпра» в м. Києві. Другий - пам'ятка архітектури, будівля «Гостиного двору». На обох об'єктах за участю автора дисертаційної роботи виконувався науково-технічний супровід проєктування, будівництва, та реконструкції (для другого об'єкту), зокрема візуальне обстеження конструкцій станцій, метрополітену та будівель; інструментальні дослідження міцності матеріалів; вібродинамічні дослідження ґрунту, фундаментів та тримальних конструкцій при динамічних впливах від автотранспорту, будівельної техніки та потягів метрополітену; перевірочні розрахунки з оцінкою НДС системи ОФС; розробка рекомендацій та технічних рішень щодо забезпечення надійної експлуатації та безпеки об'єктів.

В пункті 3.1 описано конструкцію ТРЦ «Оазис» та особливості пальового фундаменту і підвалу, виявлено недоліки елементів конструкції. Охарактеризовано конструкцію станції метрополітену та шпунтового огороження з обох боків тунелю метро. Наведено інженерно-геологічні умови ділянки споруд та вказано на можливі зміни та порушення їх за період експлуатації. Реєстрація вібраційних сигналів здійснювалась одночасно трьома каналами за допомогою відкаліброваної системи сейсмомоніторингу. Вибрано місця встановлення датчиків на тримальних конструкціях станції метро та ТРЦ, на поверхні ґрунту. Наведено графіки компонент віброприскорень (платформи станції та поверхні ґрунту) та спектрів їх амплітуд при виконанні буронабивних паль, при цьому максимальні значення віброприскорень (до 0.5 м/с^2) виникають під час руху потягів метрополітену. За результатами вібродинамічних випробувань на об'єкті «ТРЦ ОАЗІС» переважні частоти вертикальних і горизонтальних коливань поверхні ґрунту зареєстровані у діапазоні 12-90 Гц. Максимальне вертикальне віброприскорення фундаментної плити платформи станції під час руху потягів метрополітену становить 0.5 м/с^2 .

Пункт 3.2 містить матеріали натурних досліджень споруди «Гостиний двір» в м. Київ. За характером пошкоджень вияснено, що основною причиною їх виникнення є нерівномірні деформації основи фундаментів внаслідок додаткового ущільнення пісків від динамічних впливів. Під площинкою забудови прокладено лінії метрополітену, внаслідок вібрацій змінюються фізико-механічні властивості конструктивних елементів споруди і матеріалів ґрутової основи при коливаннях рівня ґрутових вод, зокрема віброкомпресії водонасичених пісків під підошвою фундаментів і в межах стисненої товщі основи; можливість механічної суфозії та ін. Детально охарактеризовано інженерно-геологічні умови ділянки та технічний стан будівлі. Приведено результати натурних вібродинамічних обстежень об'єкту, починаючи зі схем розміщення вібродатчиків для випробувань фундаменту, будівлі та прилеглого ґрунту, переліку параметрів коливань, що вимірюються, особливості та варіанти навантажень та інших обставин. Отримано

необхідні для розрахунків дані про частоти коливань та акселерограми при русі поїздів метрополітену. Переважна частота коливань ґрунту від наземного транспорту складає 15 Гц, при русі потягів метрополітену 55 Гц. Максимальне значення амплітуд віброприскорення з врахуванням одночасної дії всіх видів динамічного впливу зафіксовано для ґрунту біля будівлі над лініями метро значення 0.64 м/с^2 в горизонтальному напрямку та 0.42 м/с^2 для вертикального напрямку. Вертикальне інерційне навантаження при русі потягів метрополітену складає: на фундаменти будівлі до 1 %, на ґрунт біля будівлі - до 7 %, на перекриття будівлі - до 5 %.

В розділі 4 Чисельне моделювання зміни НДС системи «основа-фундамент» представлено моделювання НДС систем «метрополітен-основа-фундамент» для двох споруд. Використано ПК Midas GTS NX та моделі цих споруд з ПК Ліра, що дозволяє моделювати транспортні динамічні навантаження та отримувати результати для складних розрахункових схем прямим динамічним методом. Для верифікації моделей виконувалось узгодження числових результатів з даними вібродинамічних досліджень на об'єктах. Коригувались динамічні характеристики ґрунтів та параметри навантаження на колії метро, щоб досягнути розходження не більше 15 % між результатами розрахунку та даними натурних випробувань.

Моделювання виконано з урахуванням стадійності зведення об'єктів в системі «основа – фундаменти – метрополітен» та дослідно встановлених динамічних впливів.

Графічні ілюстрації для ТРЦ «Оазис» (об'єкт 1) наступні: розподіл у вертикальному поперечному секторі вертикального прискорення та амплітуд зміщень за результатами прямого динамічного розрахунку з використанням трикомпонентних акселерограм; прискорення та амплітуди зміщень з прикладанням навантажень від двох потягів (і додатково – з одним потягом чи без споруди ТРЦ); епюри значень нормальних, зсувних тисків, прискорень та амплітуд зміщень в ґрунтовій основі.

Визначено розмір зон впливу від метрополітену на основі аналізу зміни параметрів НДС системи при статичних та динамічних розрахунках в характерних точках при певній віддаленості від тунелю метрополітену. Для першого об'єкта – 75 м. для другого – 40 м і залежить від особливостей конструктивних схем, зокрема станції метрополітену та наявністю пальтових фундаментів на шляху розповсюдження хвиль для об'єкта 1. Для будівлі «Гостиний двір», зважаючи на геологічну будову ґрунтової основи та наявні динамічні впливи є значний ризик додаткових деформацій.

Запропоновано теми та засоби для продовження науково-технічних досліджень на даних об'єктах.

Загальні висновки по роботі відповідають результатам, представленим в розділах 3-4.

Список використаних джерел містить досить повний обсяг робіт, його складено по нормативним вимогам, на всі джерела є посилання в тексті дисертації.

В Додатку А до дисертації представлено список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

Результати досліджень враховано при створенні наступних нормативних документів: ДБН В.2.1-10:2018; ДСТУ-Н Б В.1.1-39:2016 та ДСТУ-Н Б В.1.1-41:2016, що передбачає використання результатів досліджень проектувальними організаціями та будівельними підприємствами.

Необхідно рекомендувати використання результатів даної науково-технічної роботи для використання в учебному процесі, для обґрунтovanих випадків проектування та обстеження відповідних об'єктів, на які не поширяються вимоги ДБН В.2.1-10:2018.

ЗАУВАЖЕННЯ ПО ДИСЕРТАЦІЙНІЙ РОБОТІ

- 1. В огляді літератури не згадуються дослідження динаміки основ та фундаментів, виконані під керівництвом проф. В. Г. Тарапона.**
- 2. Не аналізується зміна порового тиску у водонасичених фрагментах ґрунтової основи об'єктів, що розглядаються.**

3. Необхідно пояснити застосування двовимірної розрахункової схеми та моделі споруди для об'єкту Гостиний Двір.

4. Недоліком для наукової роботи є використання різних систем одиниць, наприклад, для прискорень, а секунди позначаються «с» та «сек» в одному реченні.

ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА РОБОТИ

1. Розглянута дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому одержані нові науково обґрунтовані результати при вирішенні задач науково-технічного супроводу будівництва та реконструкції відповідальних споруд на складних ґрунтових основах в зоні динамічного впливу поїздів метрополітену та умовах ущільненої забудови. Виконано комп'ютерне моделювання НДС при коливаннях споруд і ґрунтової основи, враховано статичні, транспортні навантаження та контактні реакції з використанням ПК Ліра та ПК Midas GTS NX. Результати роботи здобувача мають важливе народногосподарське значення для підвищення надійності та забезпечення необхідного запасу несучої здатності при динамічних навантаженнях з врахуванням стану і характеристик споруд та їх ґрунтових основ та оточення в умовах ущільненої забудови та можливістю прогнозування наслідків зміни їх НДС.

2. В дисертації послідовно та досить повно представлено наукові основи, запропоновані методики та практичні частини виконаних досліджень. Поставлені мета і задачі виконані повністю, підтверджено наукову новизну запропонованих методик і практичне значення одержаних результатів. Структура, обсяг й оформлення дисертації відповідають вимогам Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

3. Зроблені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертації в цілому. Вона відповідає тематиці паспорта спеціальності 05.23.02 - основи і фундаменти.

4. Дисертація задовольняє діючим вимогам стосовно дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук (пункти 11, 12, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань») та вимогам МОН України, а здобувач Дворник Антон Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
Інституту гідромеханіки НАН України
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

10 вересня 2021 р.

Савицький О. А.

