

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Башинського Ярослава Володимировича
«Вплив динамічних навантажень метрополітену
на напружено-деформований стан конструкцій будівель та споруд»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Актуальність обраної теми досліджень, її зв'язок з науковими програмами, планами і темами

Стрімке зростання великих міст потребує розробки та використання сучасних методів вирішення пов'язаних з цим проблем, зокрема розвитку відповідної транспортної інфраструктури. Концепцією «Державної цільової програми будівництва та розвитку мережі метрополітенів на період до 2020 року» передбачено прискорення темпів будівництва і розвитку мережі метрополітенів у великих містах, що має призвести до збільшення загальної експлуатаційної протяжності ліній метрополітену в м. Києві, Дніпрі та Харкові на 49,5 км.

Лінії метрополітену, особливо мілкового закладення, є джерелом підвищеної вібрації. У зв'язку з цим особливу увагу приділяють прогнозуванню рівнів вібродинамічних навантажень на будівельні конструкції існуючих будівель і споруд, які потрапляють в зону впливу нових ліній, або нових об'єктів, які проектуються для будівництва в безпосередній близькості до існуючих ліній метрополітену. Іншим важливим завданням є вибір та оцінка ефективності заходів вібраційного захисту будівельних конструкцій, житлових та громадських будівель від негативного впливу вібрації, яка виникає при русі поїздів метрополітену.

В умовах високої щільності забудови і високої вартості земельних ділянок у великих містах найбільш виправданим з економічної точки зору є будівництво будівель підвищеної поверховості заввишки від 25 до 50 поверхів. Висотні будівлі відносяться до об'єктів найвищого рівня відповідальності та надійності - питома вартість їх будівництва та технічного обслуговування, у порівнянні із звичайними будівлями, значно вище, а виникнення аварійних ситуацій може призвести до важких наслідків матеріального, економічного і соціального характеру.

Від точності прогнозу очікуваних рівнів вібрації ґрунту і конструкцій, обґрунтованості вибору заходів вібраційного захисту залежать конструктивна безпека об'єктів будівництва, ефективність матеріальних і фінансових витрат, комфортні умови проживання мешканців та роботи персоналу.

Таким чином, тема дисертаційної роботи, яка присвячена вивченню існуючих, розробці і обґрунтуванню нових методів розрахунку параметрів напружено-деформованого стану (НДС) несучих конструкцій будівель і споруд, які експлуатуються і проектуються для будівництва в зонах динамічного впливу метрополітену, безумовно є актуальною.

Вхід №40
Від 14.11.2019р.
Юрчук

Тема дисертаційної роботи відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №409 від 05.05.1997 р. «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель споруд і мереж», розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.12.2011 № 1361-р «Про схвалення Концепції Державної цільової програми будівництва та розвитку мережі метрополітенів на період до 2020 року».

Обраний напрямок досліджень безпосередньо пов'язаний із науковою тематикою кафедри комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету за держбюджетними темами № 6/10.01.02 «Комп'ютерне моделювання процесів життєвого циклу об'єктів цивільного та транспортного будівництва» та № 36/10.01.02 «Побудова теорії опору складених залізобетонних конструкцій на основі механіки руйнування залізобетону та її комп'ютерне моделювання».

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Рукопис дисертації містить 155 сторінок, зокрема 119 сторінок основного тексту, 13 таблиць, 57 рисунків, 17 сторінок списку використаних джерел з 155 посилань та 14 сторінок додатків. Автореферат дисертації викладено на 22 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, визначений об'єкт, предмет і методи досліджень, наведено основні положення, які виносяться на захист, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, відомості про публікації та апробацію результатів досліджень, структуру і обсяги дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячено аналізу вібродинамічних навантажень на несучі конструкції будівель і споруд. Розглянуто види, параметри та зони можливого негативного впливу на конструкції динамічних навантажень, які виникають при русі залізничного та автомобільного транспорту, трамваїв, поїздів метрополітену та інших техногенних впливів.

Відзначається, що рівні вібрацій ґрунту і конструкцій будівлі залежать від багатьох чинників, зокрема для метрополітену від швидкості руху поїздів, конструкцій колій та оправ тунелів, стану рейкових шляхів, фізико-механічних характеристик ґрунтів, глибини закладення фундаментів будівель, динамічних характеристик конструкцій будівель тощо. Особливу увагу приділено розгляду можливих негативних наслідків динамічного впливу від транспортної вібрації на технічний стан несучих конструкцій, стійкість та деформативність основ.

Виконано огляд критеріїв оцінки вібрації в будівлях, встановлених національними стандартами та нормативними документами зарубіжних країн. Зазначається, що у вітчизняній практиці основна увага приділяється забезпеченню комфортності мешканців будівлі та обмеженню вібраційного впливу виключно для задоволення вимог санітарних норм. Проте в нормативних документах Німеччини, Великобританії, Норвегії, вимоги яких

розглянуті в дисертаційній роботі, обмежується вібраційний вплив саме на конструктивні елементи будівель і споруд.

На основі виконаного аналізу сформульовано методологію вирішення наукової задачі прогнозування на стадії проектування параметрів НДС несучих конструкцій будівель і споруд з урахуванням вібродинамічного впливу від руху поїздів метрополітену; визначено основні задачі дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** докладно описані методи розрахунку і моделювання поведінки конструкцій будівель при динамічних впливах, зокрема метод розкладання за власними формами коливань, застосування спектрів реакції будівлі та поверхових спектрів відгуку, метод нелінійного статичного розрахунку (так званий *pushover analysis*), прямий динамічний метод з інтегруванням рівнянь руху конструкцій у часі.

Відзначається необхідність врахування для повного та достовірного опису НДС будівлі всіх складових, які описують її фактичний стан: геометричні параметри; фізико-механічні властивості ґрунтів та матеріалів будівельних конструкцій; особливості їх нелінійної роботи; формування початкових напружень та деформацій у ґрунті при зведенні будівлі; параметри зовнішніх динамічних впливів та характер руху конструкцій у певному проміжку часу, в якому відбувається динамічний вплив. В цьому випадку для вирішення задач дослідження має бути обраний саме прямий метод інтегрування рівнянь руху.

В розділі розглянуто математичні моделі розповсюдження коливань у ґрунті; наведено залежності для визначення швидкості поширення у ґрунтовому масиві поздовжніх, поперечних та поверхневих хвиль Релея, які розповсюджуються від опор тунелю при русі поїздів метрополітену. Особливу увагу приділено необхідності врахування в розрахунках ефектів гасіння коливань, для чого застосовано модель демпфування Релея, також відоме як пропорційне або матеріальне демпфування. Розглянуто чисельний приклад, яким обґрунтовано зроблені висновки.

У **третьому розділі** наведено результати чисельних досліджень складної системи «наземна частина будівлі – основа – ґрунт – тунель метрополітену з рухомим поїздом». Чисельні дослідження виконані відповідно до запропонованої автором методики з використанням програмного комплексу (ПК) «ЛІРА-САПР», в якому реалізовано метод скінченних елементів (МСЕ).

В розрахункових моделях (двовірних та просторових) враховано різноманітні фактори, а саме: нелінійна робота ґрунту, особливості динамічного впливу від метрополітену, різні глибина заглиблення та відстані від тунелів до будівлі, характер розповсюдження хвиль у ґрунті, складна реакція конструкцій, (зокрема будівлі підвищеної поверховості) при дії динамічних навантажень, стадійність зведення будівлі.

За результатами чисельних досліджень встановлено наступне:

- підтверджено можливість перевищення рівнями вібрації на верхніх поверхах будівлі підвищеної поверховості допустимих значень відповідно до санітарних норм;

- виявлено близькість власних частот згинальних коливань будівель підвищеної поверховості та власних частот вертикальних коливань плит перекриття верхніх поверхів, що може призводити до збільшення рівнів вібрації цих конструкцій;
- зафіксовано вплив на параметри динамічної реакції будівлі (частот коливань та горизонтальних переміщень) зміни геометричних характеристик окремих конструктивних елементів, а саме товщини плит перекриття.

Для одного з наведених прикладів – будівлі Музею історії Києва виконано порівняння фактичних рівнів вібрації конструкцій в різних рівнях по висоті, зафіксованих при динамічному впливі метрополітену, тунель якого проходить безпосередньо під будівлею, та розрахункових значень відповідних параметрів, отриманих за результатами аналізу просторової системи *«грунтовий масив – елементи наземних і підземних споруд»*. Різниця між розрахунковими значеннями динамічної реакції будівлі у вигляді вібропереміщень, віброшвидкості та віброприскорення та відповідними експериментальними даними склала 14,9%, що дало змогу автору зробити висновок про достовірність запропонованої їм методики.

Для виконання динамічних розрахунків складної системи *«наземна частина будівлі – основа – ґрунт – тунель метрополітену з рухомим поїздом»* запропоновано алгоритм комплексної оцінки розповсюдження вібродинамічних впливів та аналізу реальної поведінки несучих конструкцій будівель та споруд, який об'єднує використання експериментальних та теоретичних чисельних результатів.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням вібраційного впливу, який виникає при русі поїздів метрополітену, на стан несучих конструкцій будівель і споруд. Розглянуто два об'єкти в м. Києві, які експлуатуються певний час і знаходяться в зоні впливу тривалих динамічних вібраційних навантажень від поїздів метрополітену, а саме:

- дев'яти поверховий житловий панельний будинок за адресою вул. Васильківська, 38, розташований в безпосередній близькості до тунелю мілкового закладення синьої (M2) лінії Київського метрополітену;
- історична будівля костелу Святого Миколая (будівля Національного будинку органної та камерної музики) за адресою вул. Велика Васильківська, 75, розташована над тунелем глибокого закладення синьої (M2) лінії Київського метрополітену.

Експериментальні дослідження полягали в інструментальному визначенні рівнів вібраційних динамічних коливань поверхні ґрунту, конструкцій рейкового шляху, оправи тунелю та конструкцій будівлі на різних відмітках при русі поїздів метрополітену в денний та нічний час. Запис, обробка та аналіз вібросигналів здійснювався з використанням атестованого обладнання. В якості вимірюваних величин прийнято максимальні (пікові) значення віброприскорень (м/с^2) ґрунту і конструкцій підвального поверху та середньоквадратичні

значення рівнів віброприскорень (дБ) в октавних смугах із частотами від 1 до 63 Гц в житлових приміщеннях.

За результатами досліджень в житлових приміщеннях зафіксовано значні (від 8 дБ у денний час до 10 дБ у нічний час) перевищення допустимих значень віброприскорень відповідно до санітарних норм.

Результати вимірювань, здійснених безпосередньо на конструкціях тунелю метрополітену, використані в подальшому в якості вихідних даних для моделювання динамічного впливу в чисельних дослідженнях розробленої моделі системи «*тунель – трунт – основа – наземна частина будівлі*» для оцінки параметрів НДС конструкцій дев'яти поверхового панельного будинку. Чисельні дослідження виконані з використанням модулю «Динаміка плюс», що є складовою ПК «ЛПРА-САПР», в якому реалізовано метод прямого інтегрування рівнянь руху в часі, зокрема з урахуванням результатів досліджень автора дисертаційної роботи.

Для будівлі Національного будинку органної та камерної музики проведено аналіз результатів інструментальних спостережень за висотним положенням осадкових марок, встановлених на конструкціях споруди, виконано чисельні дослідження просторової моделі фундаменту, отримано нерівномірний розподіл деформацій по підшві фундаменту, який відповідає характеру деформацій основи за результатами геодезичних спостережень.

Розділ містить також рекомендації із захисту будівель і споруд від вібрації та шуму, які виникають при русі поїздів метрополітену. Наведені рекомендації передбачають нагляд за належним технічним станом та вдосконалення конструкцій рейкових шляхів, віброізоляцію шляхів, оправи та конструкцій верхньої будови.

Загальні висновки відповідають змісту дисертаційної роботи, основним завданням дослідження та стисло висвітлюють отримані результати.

Ступінь обґрунтування наукових положень та їх достовірність

Обґрунтування наукових положень впливає з обширного аналізу науково-технічної та нормативної літератури, чітко сформульованих задач досліджень, використання початкових передумов і методик, які є загальноприйнятими та підтверджені експериментальними дослідженнями, використання для чисельних досліджень ліцензованого розрахункового комплексу, співставлення розрахункових результатів з даними експериментальних досліджень, отриманих з використанням атестованого обладнання, відповідності розрахункових та експериментальних результатів в прийнятних межах похибки.

Наукова новизна роботи та практична значимість отриманих результатів

Наукова новизна роботи полягає в тому, що здобувачем розроблено та теоретично обґрунтовано методика чисельного моделювання процесів деформації і руйнування конструкцій будівель і споруд при вібродинамічних впливах із урахуванням фактору часу; запропоновано алгоритм розрахунку

параметрів НДС несучих конструкцій будівель при вібродинамічних впливах; вдосконалено розрахункові моделі системи «джерело вібраційного впливу – ґрунт – основа несучі конструкції будівлі» з урахуванням розповсюдження хвиль у ґрунтовому масиві, ефектів демпфування та особливостей нелінійної роботи конструкцій при вібродинамічних впливах.

Практична значимість отриманих результатів полягає у прикладному характері задач дослідження, зокрема у створенні методики комплексної оцінки вібродинамічного впливу метрополітену на параметри НДС несучих конструкцій будівель і споруд із використанням результатів експериментальних досліджень рівнів вібраційного впливу та чисельних досліджень складної системи «джерело вібраційного впливу – ґрунт – основа несучі конструкції будівлі». Розроблена методика може бути використана при прогнозуванні параметрів НДС при проектуванні нових і забезпеченні конструктивної безпеки існуючих будівель і споруд при різних вібродинамічних впливах. Практичну цінність становлять також експериментальні дані вимірювань вібрації, отримані на звичайних та віброізольованих шляхових рейках діючої лінії метрополітену мілкого закладення.

Результати досліджень застосовано в діяльності наукових та науково-дослідних установ (Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП НДІБВ); ТОВ «ЛІРА-САПР»; Національного авіаційного університету), про що свідчать відповідні акти впровадження, наведені в дисертаційні роботі.

Повнота викладу результатів досліджень

За темою дисертації видано 10 друкованих праць, з яких 7 – у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України (з яких 1 публікація у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus) та 3 публікації у збірниках матеріалів конференцій. Видані матеріали достатньо повно висвітлюють основні положення роботи та отримані автором результати.

Ідентичність автореферату основним положенням дисертаційної роботи

Автореферат містить усе необхідне для сприйняття результатів досліджень та повністю відповідає змісту дисертації.

Зауваження за змістом дисертаційної роботи

За змістом дисертації слід зробити наступні зауваження та коментарі:

1. У першому розділі доцільно було б навести огляд та критичний аналіз існуючих нормативних документів України щодо обмеження вібраційного впливу на будівельні конструкції, зокрема ВСН 490-87, ДСТУ 4704:2008, та більш детально розглянути положення Національного стандарту Норвегії NS 8141:2001. Критерії цього документу враховують вплив ґрунтових умов, конструктивного рішення будівлі, відстаней до джерела вібрації та його тип, чому, власне, приділено особливу увагу при формуванні задач дослідження.

2. Вихідні дані про моделі, використані в чисельних дослідженнях (розділ 3), зокрема геометричні та фізико-механічні характеристики елементів, засоби моделювання нелінійної роботи ґрунтів та конструкцій, параметри демпфування, використані скінченні елементи, слід було б навести більш детально.
3. Висновок щодо близькості власних частот коливань будівель підвищеної поверховості та власних частот вертикальних коливань перекриттів верхніх поверхів слід було б проілюструвати результатами чисельних досліджень, виконаних автором, а не посиланням на джерело [106].
4. Залежності (3.2) рекомендовані ДБН В.2.2-24 для визначення сейсмічних навантажень на висотні будівлі і споруди. Застосовність цих залежностей для високочастотних динамічних впливів від метрополітену потребує додаткового обґрунтування.
5. На стор. 78 наведено відомості про фактичні пошкодження конструкцій будівлі. Яким чином вони були враховані в розрахункових моделях?
6. Оцінюючи рівні вібрації, зафіксовані в приміщеннях дев'яти поверхової житлової будівлі, в якості допустимих значень слід було б приймати критерії діючих нормативних документів, зокрема ДБН В.2.2-12:2018 «Планування і забудова територій», ДСН 3.3.6-039 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».
7. За результатами натурних вимірювань на конструкціях колії та оправи тунелю метрополітену зафіксовані рівні вібрації для звичайних та віброізолюваних рейок (розділ 4.1.3). Отримані експериментальні дані мали би бути проаналізовані більш детально. Не наведено відомостей про те яким чином в розрахункових моделях враховані конструкції віброізолюваних рейок?
8. На рис. 4.10 не наведена розмірність віброприскорень акселерограми, яку використано в якості динамічного навантаження в модулі «Динаміка в часі». Яким чином прийнято значення масштабного множника, наведеного на рис. 4.12?
9. В тексті дисертаційної роботи присутні неточності редакційного характеру: відсутній опис використаних позначень у формулах (2.19), (2.20), (2.23), (2.24), (2.32) – (2.37); не наведені розмірності величин, позначення осей на графіках рис. 3.19, 3.20, 4.17; назва та зміст таблиці 4.4 не відповідає її опису в тексті; присутні посилання на нормативні документи, дію яких припинено.

Загальний висновок про дисертаційну роботу

Розглянута дисертаційна робота являє собою завершену наукову працю, в якій одержані нові науково обґрунтовані результати. Вирішено конкретну задачу розроблення та обґрунтування методики комплексної оцінки параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій будівель і споруд при впливі динамічних навантажень від метрополітену. Розроблена методика дозволяє вирішувати питання прогнозування поведінки будівельних конструкцій при динамічних впливах від метрополітену та інших джерел, оцінки конструктивної безпеки існуючих та раціонального проектування нових будівель і споруд, зокрема із застосуванням заходів захисту від негативних наслідків таких впливів.

Дисертаційну роботу побудовано логічно, розділи тісно пов'язані між собою, висновки за розділами і по роботі загалом чітко сформульовані. Поставлені мета і задачі досліджень виконані, робота містить наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів. Автор продемонстрував обізнаність сучасними тенденціями у розрахунку будівельних конструкцій на динамічні впливи, здатність до самостійного планування досліджень, аналізу та представлення їх результатів, володіння можливостями сучасних розрахункових комплексів.

Наведені зауваження та коментарі істотно не впливають на загальні висновки, наукову та практичну цінність отриманих результатів та позитивну оцінку дисертаційної роботи в цілому.

Дисертація Башинського Ярослава Володимировича «Вплив динамічних навантажень метрополітену на напружено-деформований стан конструкцій будівель та споруд» відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, завідувач лабораторії
теорії сейсмостійкості та динамічних випробовувань
будівель і споруд Державного підприємства
«Державний науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій» (ДП НДБК)

К.М. Бабік



Підпис кандидата технічних наук
Бабіка К.М. засвідчую

Заступник директора ДП НДБК
з наукової роботи, к.т.н., с.н.с

Ю.С. Слюсаренко