

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БАШИНСЬКИЙ ЯРОСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 624.042.8 (043.3)

**ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ МЕТРОПОЛІТЕНУ
НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН
КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті
Міністерства освіти і науки України (м. Київ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лапенко Олександр Іванович,
Національний авіаційний університет (м. Київ),
завідувач кафедри комп'ютерних технологій будівництва.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Банах Віктор Аркадійович,
Запорізький національний університет (м. Запоріжжя),
проректор з науково-педагогічної роботи та технічної
освіти;

кандидат технічних наук
Бабік Костянтин Миколайович,
Державне підприємство «Державний науково-дослідний
інститут будівельних конструкцій» (м. Київ),
завідувач лабораторії теорії сейсмостійкості та
динамічних випробовувань будівель і споруд.

Захист відбудеться «29» листопада 2019 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.062.12 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, корп. 5, ауд. 303.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий «___» жовтня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук

О. М. Дубик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні десятиліття у всьому світі та безпосередньо в Україні відбувається урбанізація й інтенсивне зростання міст. Одночасно з цим, для розвантаження транспортного потоку у місті відбувається засвоєння підземного простору та будівництво нових ліній метрополітену. Тому нормальне функціонування великих міст нерозривно пов'язане з розвитком транспортної галузі, а саме метрополітену, оскільки економічно доцільних альтернатив цього виду транспорту поки що не існує. Однак, метрополітен, як і будь-який інший рейковий транспорт, є джерелом підвищеного рівня вібрації та шуму. Як правило, нові тунелі прокладаються у сформованій міській забудові, що викликає зростання вібрації та шуму у прилеглих або розташованих над лініями метрополітену будівлях та спорудах, а також і нове будівництво ведеться поблизу вже існуючих станцій та тунелів метрополітену.

Проблема захисту будівель та споруд від вібрацій, які виникають при русі поїздів метрополітену, набула особливої актуальності в останні роки, коли при будівництві нових ліній метрополітену почали здебільшого прокладати тунелі мілкового залягання. У порівнянні з прокладкою тунелів глибокого залягання, цей спосіб має техніко-економічні переваги і сьогодні є основним. Мають місце неодноразові випадки, коли вібрація всередині будівель значно перевищує допустимі норми, з точки зору фізіологічного впливу на людей і нормальної роботи високоточного обладнання. Багато задач, пов'язаних із динамічними розрахунками будівель та споруд, досліджуються на чисельних моделях, які не завжди відображають реальні властивості ґрунтових середовищ, будівельних конструкцій та відповідних вібродинамічних впливів.

Вібродинамічні навантаження також негативно впливають і на ґрунт. Вібрація під час динамічних впливів зменшує сили тертя між частинами ґрунту і опір зсуву. Сильні імпульсні дії можуть викликати додаткові сповзання та осідання породи. Постійно діючі вібродинамічні навантаження від руху метрополітену впливають на фізико-механічні властивості ґрунтів та на несучу здатність конструкцій будівель і споруд, які експлуатуються, зводяться або реконструюються. Надати повну та достовірну оцінку цим впливам лише інструментальними методами не представляється можливим.

Тому дуже важливо розробити комплексні чисельні методи розрахунку, які дозволять отримати об'єктивну і вичерпну інформацію про фактичний напружено-деформований стан (НДС) відповідальних конструкцій будівель і споруд при вібродинамічних впливах. У подальшому, це дозволить розробити комплекс заходів щодо протидії вібродинамічним впливам із метою запобігання виникнення пошкоджень та подальшого руйнування конструкцій. Наприклад, виконати посилення або встановлення демпферу на рівні фундаментів; встановити демпфер безпосередньо у тунелі метро; облаштувати захисні екрани в ґрунті між конструкціями будівлі та тунелем метро тощо.

У зв'язку з цим, визначення НДС будівельних конструкцій будівель і споруд при дії вібродинамічних навантажень є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати дисертаційної роботи відповідають 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», від 23.05.2011 №547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».

Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету у рамках наукових досліджень кафедри за держбюджетною темою № 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».

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи є* визначення напружено-деформованого стану відповідальних конструкцій будівель і споруд при впливі вібродинамічних навантажень, які призводять до часткового або повного руйнування несучих конструкцій.

Для досягнення вказаної мети у дисертаційній роботі виникла необхідність вирішення наступних **основних завдань**:

1. Провести теоретичні дослідження напружено-деформованого стану конструкцій будівель при вібродинамічних впливах метрополітену.
2. Розробити методику, що відображає роботу несучих конструкцій під час вібродинамічних впливів метрополітену; запропонувати алгоритм розрахунку несучих конструкцій будівель на дію вібродинамічного впливу.
3. Виконати порівняльну оцінку впливу на несучі конструкції будівлі глибини залягання метрополітену та відстані від джерела коливань до будівлі; розробити методику розрахунку.
4. Запропонувати методику, яка дозволить вирішити комплексну задачу визначення інтенсивності вібродинамічного впливу метрополітену на конструкції будівельного об'єкту; порівняти результати чисельних експериментів із результатами натурних вібраційних випробувань будівлі.
5. Реалізувати алгоритми розрахунку несучих конструкцій на дію вібродинамічних впливів метрополітену із урахуванням фактору часу.
6. Розробити практичні рекомендації щодо визначення напружено-деформованого стану будівельних конструкцій при вібродинамічних впливах від метрополітену, які нададуть можливість отримати початкові дані про майбутню поведінку конструкцій будівлі.

Об'єкт дослідження. Деформування конструкцій будівель та споруд при вібродинамічних впливах метрополітену.

Предмет дослідження. Міцність та деформативність конструкцій будівель та споруд із урахуванням вібродинамічного впливу від метрополітену.

Методи дослідження. Дисертація базується на чисельному методі скінченних елементів; у роботі використані математичні методи визначення

порівняльних характеристик для опрацювання результатів натурних обстежень та чисельного моделювання, визначення збіжності натурних обстежень і чисельних результатів. Методологічною основою дисертації є сучасні методи нелінійної динаміки, методи опору матеріалів та методи механіки твердого деформованого тіла.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- розроблено та теоретично обґрунтовано методику чисельного моделювання процесів деформації і руйнування конструкцій будівель і споруд при вібродинамічних впливах метрополітену;
- створено математичну та чисельну моделі вібродинамічного впливу з урахуванням фактору часу;
- вдосконалено розрахункові моделі конструкцій будівель та споруд із урахуванням їхньої нелінійної роботи при вібродинамічних впливах за допомогою ПК ЛІРА-САПР;
- вдосконалено алгоритм перевірки адекватності створеної розрахункової моделі руйнування конструкції при вібродинамічних впливах та її співставлення з результатами натурних спостережень та обстежень;
- дістали подальшого розвитку засоби чисельного моделювання будівель при впливі вібродинамічних навантажень для визначення напружено-деформованого стану конструкцій будівель, а також запропонований варіант моделювання системи *«джерело вібраційних навантажень–грунт–основа-несучі конструкції будівлі»*.

Практичне значення одержаних результатів полягає у спрямованості дослідження на вирішення задачі конструктивної безпеки будівель і споруд, зокрема завдяки детальному врахуванню чинників, які впливають на формування НДС будівельних конструкцій при вібродинамічних впливах.

Прогнозування НДС при проектуванні і реконструкції несучих будівельних конструкцій будівель і споруд, у доповненні до традиційних методів оцінки конструктивної безпеки будівельних систем за граничними станами, дозволяє оцінити можливу пристосовуваність будівель і споруд до дії вібродинамічних впливів. Результати дослідження використані щодо надання практичних рекомендацій із проектування будівель у зоні негативного впливу вібрації метрополітену на несучі конструкції будівель та споруд і при розробці подальших базових методів захисту конструкцій від подібних впливів.

Розроблені методики знайшли своє відображення при обстеженні об'єктів в м. Києві (історична будівля Музею історії м. Києва; житлова панельна будівля вул. Васильківська 38; офісно-житловий комплекс вул. Велика Васильківська 137–139, а також для подальшого аналізу наслідків постійно діючого вібродинамічного навантаження й оцінки ефекту подальшої роботи конструкцій будівель та споруд.

Отримані результати роботи впроваджено та застосовано в діяльності:

- державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП НДІБВ) при розрахунках та проектуванні реальних будівельних об'єктів для оцінки НДС від впливу вібродинамічних

навантажень: офісно-житлового комплексу по вул. Велика Васильківська 137–139 в м. Києві;

- ТОВ «ЛІРА-САПР» при розробці та реалізації методики розрахунку задач із врахуванням вібродинамічного впливу, а саме при реалізації підсистеми «Динаміка плюс» (Динаміка в часі), що є складовою частиною програмного комплексу «ЛІРА-САПР»;

- кафедри комп'ютерних технологій будівництва факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Комп'ютерні технології проектування конструкцій будівель та споруд аеропортів», «Інтегровані технології проектування будівель та споруд» та при підготовці наукових магістерських робіт.

Особистий внесок здобувача. Дисертація містить результати досліджень щодо уточненого визначення напружено-деформованого стану конструкцій будівель та споруд при дії вібродинамічних впливів від руху метрополітену. Більшість результатів отримані автором самостійно, деякі наукові результати отримані у співавторстві та опубліковані у наукових статтях.

Авторський внесок об'єднує: створення методики чисельного моделювання напружено-деформованого стану конструкцій при вібродинамічних впливах; узагальнення методики проектування та розрахунку конструкцій будівель та споруд, які розташовані у щільній забудові; вдосконалення методу врахування динамічної складової при дослідженні НДС будівель у стадії зведення; проведення теоретичних, а також експериментальних досліджень реальних об'єктів.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 10 наукових праць.

У наукових роботах, опублікованих зі співавторами, здобувачу належать:

[1, 7] – теоретичне дослідження існуючих методів чисельного розрахунку будівель та споруд при дії динамічних впливів;

[4] – виконання експериментальних та наукових досліджень, створення комп'ютерної моделі, співставлення експериментальних та чисельних результатів;

[5, 6] – використання різних методик чисельного розрахунку конструкцій на вібродинамічні впливи метрополітену мілкового та глибокого закладення, порівняння результатів, обґрунтування обраних методик;

[8, 9] – створення розрахункових схем конструкцій, виконання розрахунку із врахуванням вібродинамічного впливу від дії метрополітену, порівняння існуючих методик розрахунку;

[10] – дослідження процесу моделювання спільної роботи конструкції з ґрунтовою основою та тунелем метрополітену.

Апробація результатів дослідження.

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких науково-практичних конференціях: Науково-технічна конференція «Будівництво в сейсмічних районах України» (м. Одеса, 2018 р.); Міжнародна науково-практична конференція: «Информационные технологии расчета и проектирования конструкций объектов сейсмостойкого строительства» (м. Тбілісі, Грузинський технічний університет, 2017 р.); XIX, XX конференція

молодих вчених «Science - Future of Lithuania. Transport Engineering and Management» (м. Вільнюс, VGTU, 2016 р., 2017 р.); I Міжнародний науково-практичний конгрес «Міське середовище – XXI сторіччя» (м. Київ, НАУ, 2014 р.); XIII Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки» (м. Київ, НАУ, 2013 р.).

Публікації. Наукові результати опубліковані у 10 наукових працях, 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 за матеріалами конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 155 найменувань, 4 додатків. Робота викладена на 155 сторінках, у тому числі містить 119 сторінок основного тексту, з них 17 сторінок списку використаних джерел, 13 таблиць, 57 рисунків та 14 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначені мета, завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, показаний особистий внесок здобувача, надано інформацію про апробацію роботи, структуру та об'єм дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячений аналізу існуючих досліджень щодо поведінки конструкцій при дії вібродинамічного впливу від рухомого складу метрополітену. Варто відзначити, що цей вплив, на відміну від сейсмічного, діє на будівлі та споруди постійно. У першому розділі також виконано огляд найбільш широко використаних у міжнародній практиці критеріїв оцінки вібрації будівель, встановлених національними стандартами та іншими нормативними документами зарубіжних країн.

У результаті аналізу літературних джерел і нормативних документів стосовно рекомендацій із проектування конструкцій будівель та споруд, було виявлено необхідність виконання розрахунків на вібродинамічні впливи із застосуванням чисельного моделювання за методом скінченних елементів. Проте, у багатьох випадках, такі розрахунки проводяться без урахування нелінійної роботи конструкцій, можливостей перерозподілу зусиль та їхнього застосування при подальшій роботі конструкцій. Такі підходи є хибними та можуть призвести до виникнення аварійної ситуації або до значних витрат матеріальних ресурсів. Тому, виникає необхідність у розробці нових методів розрахунку конструкцій будівель та споруд на дію вібродинамічних впливів метрополітену та вдосконаленні існуючих методів нелінійного розрахунку із урахуванням динамічної складової у часі.

Визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій будівель та споруд у зоні впливу метрополітену стає можливим при проведенні низки чисельних експериментів, що враховують можливі вібродинамічні впливи.

Теорії і практиці створення, моделювання, розрахунку, конструювання,

дослідженню несучої здатності будівельних конструкцій, особливостям формування розрахункових моделей, у тому числі при дії динамічних впливів присвячені роботи: Т.Н. Азізова, С.І. Білика, О.М. Бамбури, В.А. Банаха, З.Я. Бліхарського, А.О. Белятинського, Є.М. Бабіча, О.І. Голоднова, О.Б. Голишева, О.С. Городецького, В.С. Дорофєєва, К.В. Єгупова, Є.В. Клименка, Д.В. Кочкарьова, В.І. Колчунова, О.І. Лапенка, М.Г. Мар'єнкова, Ю.І. Немчинова, А.М. Павлікова, А.В. Перельмутера, В.М. Першакова, М.В. Савицького, С.О. Слободянюка, Л.І. Стороженка, В.С. Шмуклера, І.А. Яковенка, Е. Хог, К. Чой, R.L. Taylor, F. Hayes-Roth, M. Maher, O.C. Zienkiewicz, D.A. Waterman та інших.

Застосуванню методу скінченних елементів при розрахунку будівельних конструкцій і його подальшого розвитку присвячені роботи: В.А. Баженова, Д.В. Вайнберга, А.С. Сахарова, О.С. Городецького, В.І. Гуляєва, В.К. Цихановського та інших.

На основі проведеного огляду та аналізу наукових публікацій, сформульовані мета і задачі дисертаційних досліджень.

У другому розділі структуровано та докладно описані існуючі методи розрахунку і моделювання поведінки несучих конструкцій будівель при вібродинамічних впливах. Описано методи, які застосовуються при вирішенні задач розрахунку на вібродинамічні впливи. Представлена математична модель методу прямого інтегрування руху для урахування вібродинамічних впливів від метрополітену. Розглянуто та описано математичні моделі вібрацій і розповсюдження коливань у ґрунті. Особлива увага приділяється розповсюдженню коливань у ґрунті з урахуванням матеріального демпфування; розроблено моделі ґрунту, які дозволяють уточнити зони можливого впливу метрополітену на будівлі, які зводяться, а також будівлі, які експлуатуються. Теоретичні дослідження полягають у розробці методики чисельного моделювання процесу впливу метрополітену на конструкції будівель на базі методів нелінійної динаміки, в тому числі реалізованих у теорії методу скінченних елементів. Запропоновано уточнені математичні моделі процесу зміни напружено-деформованого стану із врахуванням фактору часу при вібродинамічних впливах.

Методи прямого інтегрування носять загальний характер і можуть застосовуватися для вирішення всіх задач динамічного розрахунку конструкцій із урахуванням фактору часу. Розрахунок на динамічні впливи заснований на вирішенні системи диференціальних рівнянь:

$$M\ddot{\vec{u}}(t) + C\dot{\vec{u}}(t) + K\vec{u}(t) = \vec{q}(t); \quad (1)$$

$$\vec{q}(t) = - \sum_{i=1}^3 (M\vec{v}_i u_g^i(t)) - \sum_{i=4}^6 (M\vec{v}_i u_g^i(t)), \quad (2)$$

де M , C , K – відповідно матриці мас, демпфування і жорсткості системи; $\vec{u}(t)$, $\dot{\vec{u}}(t)$, $\ddot{\vec{u}}(t)$ – вектори вузлових переміщень, швидкостей і прискорень у момент часу t ; $\vec{q}(t)$ – навантаження, яке відповідає моменту часу t .

Вважається, що початкові швидкості $\{\dot{U}\}$ нульові ($\dot{\vec{u}}(0) = 0$), а початкові переміщення $\{U\}$ отримані за результатами рішення системи (1) при статичному завантаженні (попередньої історії) ($\vec{u}(0) = \vec{u}_1$).

Із розгляду системи диференційних рівнянь (1) з постійними коефіцієнтами випливає, що апроксимувати швидкості, прискорення і переміщення можна будь-якими скінченно-різницевиими виразами в переміщеннях. Для визначення прискорень у момент часу t , використовуючи метод центральних різниць, можна записати вираз у наступному вигляді:

$$\ddot{\vec{u}}(t) = \frac{\vec{u}(t + \Delta t) - 2\vec{u}(t) + \vec{u}(t - \Delta t)}{\Delta t^2}. \quad (3)$$

Похибка обчислень за формулою (3) має порядок Δt^2 , і для обчислення швидкостей і переміщень із похибками того ж порядку використовуються вирази:

$$\dot{\vec{u}}(t) = \frac{\vec{u}(t + \Delta t) - \vec{u}(t - \Delta t)}{2\Delta t}; \quad (4)$$

$$\vec{u}(t) = \frac{\vec{u}(t + \Delta t) + \vec{u}(t - \Delta t)}{2}. \quad (5)$$

Підставляючи вирази (4), (5) у вираз (1) і визначаючи вектор $(\vec{u}(t + \Delta t) + \vec{u}(t - \Delta t))$, отримуємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \left[\frac{2M}{\Delta t^2} + \frac{C}{\Delta t} + K \right] (\vec{u}(t + \Delta t) + \vec{u}(t - \Delta t)) = \\ = 2 \left(q(t) + \frac{2M}{\Delta t^2} \vec{u}(t) + \frac{C}{\Delta t} \vec{u}(t - \Delta t) \right). \end{aligned} \quad (6)$$

У процесі виконання розрахунку визначаються переміщення у контрольних точках будівлі при поступовому прикладанні динамічного навантаження:

$$\begin{aligned} \left[\frac{M}{\Delta t^2} + \frac{C}{2\Delta t} + \frac{K}{2} \right] u(t + \Delta t) = \\ = q(t) + \frac{2M}{\Delta t^2} u(t) - \left[\frac{M}{\Delta t^2} - \frac{C}{2\Delta t} + \frac{K}{2} \right] u(t - \Delta t). \end{aligned} \quad (7)$$

Отримані переміщення $\vec{u}(t + \Delta t)$ визначаються завдяки знайденим переміщенням $\vec{u}(t)$ і $\vec{u}(t - \Delta t)$ шляхом вирішення наступної системи рівнянь (1). Подібні схеми інтегрування називаються схемами неявного інтегрування. Дана схема інтегрування отримала назву модифікованого методу центральних різниць.

При вирішенні поставленої у роботі задачі, використовується узгоджена матриця мас, побудована за тими ж апроксимуючими функціями, що й матриця жорсткості. При такому підході враховується також інерція обертання – з'являються "крутильні" елементи матриці мас. При інтегруванні рівнянь руху отримуємо графік кінетичної енергії $\left(\frac{1}{2} \dot{\vec{u}}_t^T M \dot{\vec{u}}_t \right)$, який дозволяє інтегрально аналізувати характер проходження процесу.

Якщо подальше інтегрування не представляє інтересу, з'являється можливість перервати процес інтегрування і переглянути результати до точки переривання. Зазвичай, для досягнення прийнятної точності рішення, крок інтегрування призначається значно меншим ніж крок отримання результатів розрахунку.

При застосуванні запропонованого методу, фіксація та запис результатів розрахунку – параметрів напружено-деформованого стану (переміщень, швидкостей, прискорень) проводиться у моменти часу, які збігаються з точками інтегрування.

У третьому розділі виконано низку чисельних експериментів із використанням авторської методики розрахунку будівель на вплив метрополітену глибокого та мілкового закладення. Методика дозволяє визначати параметри НДС (переміщення, зусилля, напруження) у кожний момент часу дії вібродинамічного впливу, змінюючи жорсткісні характеристики несучих конструкцій будівлі. Наведено методику оцінки несучої здатності конструкцій об'єкту незавершеного будівництва із урахуванням вібродинамічних впливів метрополітену.

Розроблено тестову задачу, у якій виконаний порівняльний аналіз впливу метрополітену як мілкового, так і глибокого закладення (рис. 1, 2). Задане вертикальне динамічне навантаження вздовж осі Z з амплітудою коливань $\omega = 35 \text{ рад}$, що відповідає $f = 50 \text{ Гц}$, кількість форм коливань – 100. Виконано розрахунок із кроком інтегрування $0,1 \text{ с}$, час інтегрування – 30 с . Наведені розрахункові схеми, на яких відображена форма, яку приймає модель при $t = 16 \text{ с}$.

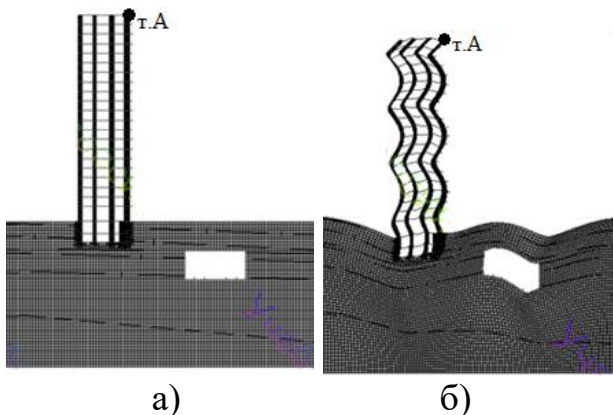


Рис. 1. Розрахункова схема урахування впливу метрополітену мілкового закладення (Експ. 1):
 а – до дії динамічного впливу;
 б – після дії динамічного впливу

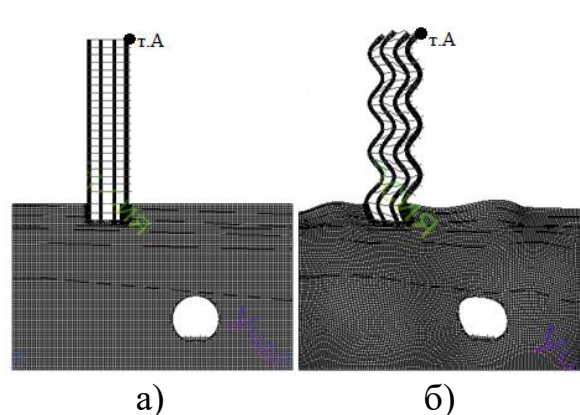


Рис. 2. Розрахункова схема урахування впливу метрополітену глибокого закладення (Експ. 2):
 а – до дії динамічного впливу;
 б – після дії динамічного впливу

Виконано порівняльний аналіз (рис. 3) допустимих середніх квадратичних значень віброприскорень у контрольній точці A на верхньому поверсі згідно Санітарних Норм і Правил (СП), Норм ISO та отриманих у чисельному експерименті результатів.

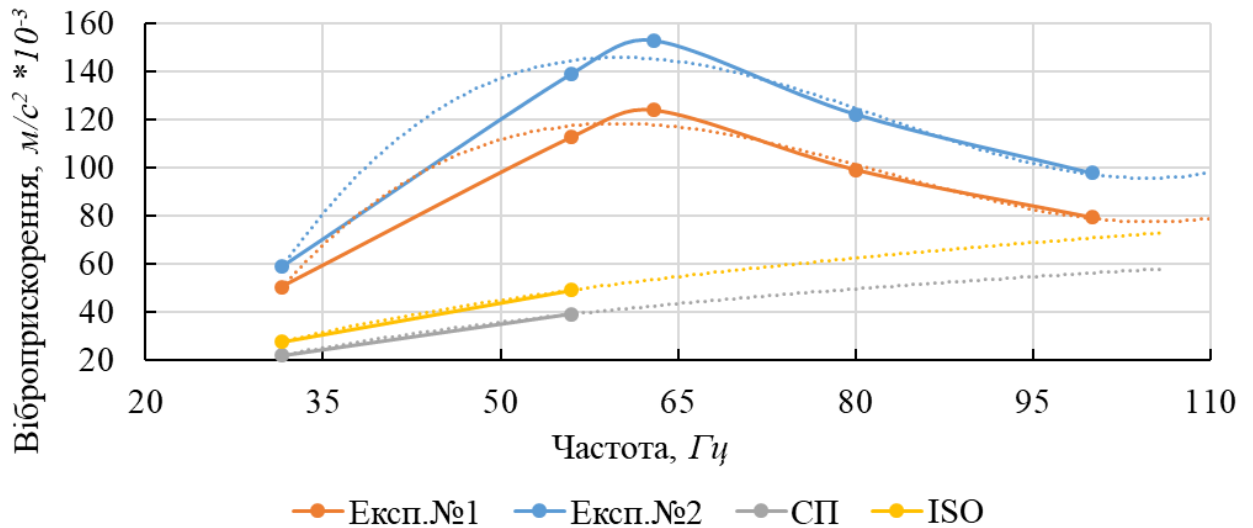


Рис. 3. Віброприскорення у точці А

З графіку видно, що незалежно від глибини закладення метрополітену при частотах 31,5 Гц та 63 Гц значення віброприскорення перевищують нормативні середні квадратичні рівні віброприскорень у 2,3–3 рази.

Наступна задача спрямована на виявлення найбільш небезпечних частот, які можуть призвести до резонансних коливань конструкцій будівель та споруд. На рис. 4 наведена схема розташування контрольних точок.

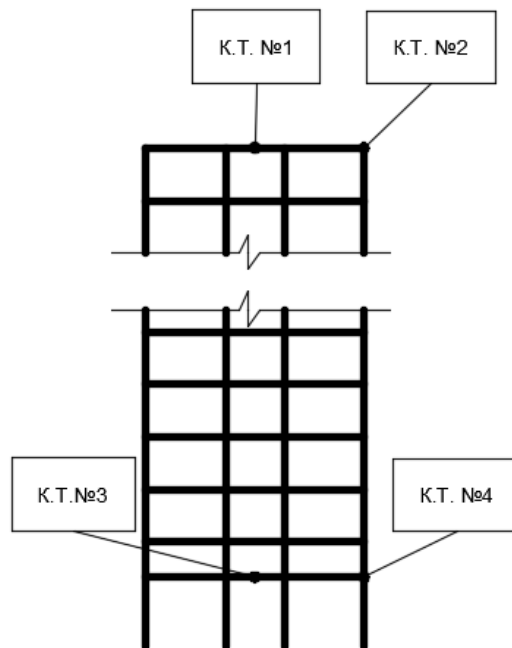


Рис 4. Схема розташування контрольних точок

У всіх точках проявилися максимальні піки на низькій частоті 5,5 Гц (рис. 5), а також піки віброшвидкості та віброприскорення були виявлені на частоті 16 Гц. Ці частоти можна віднести до близьких до резонансної зони коливань перекриття, що і пояснює різке збільшення амплітуд вертикальних коливань перекриття.

Аналіз графіків прискорення та швидкості (рис. 5) показує, що найбільші

реакції конструкцій у контрольних точках виникають на низьких частотах від $5,5 \text{ Гц}$ та поступово згасають до $31,5 \text{ Гц}$, а також, максимальні значення отримані на частоті 16 Гц , у точках на верхньому поверху будівлі.

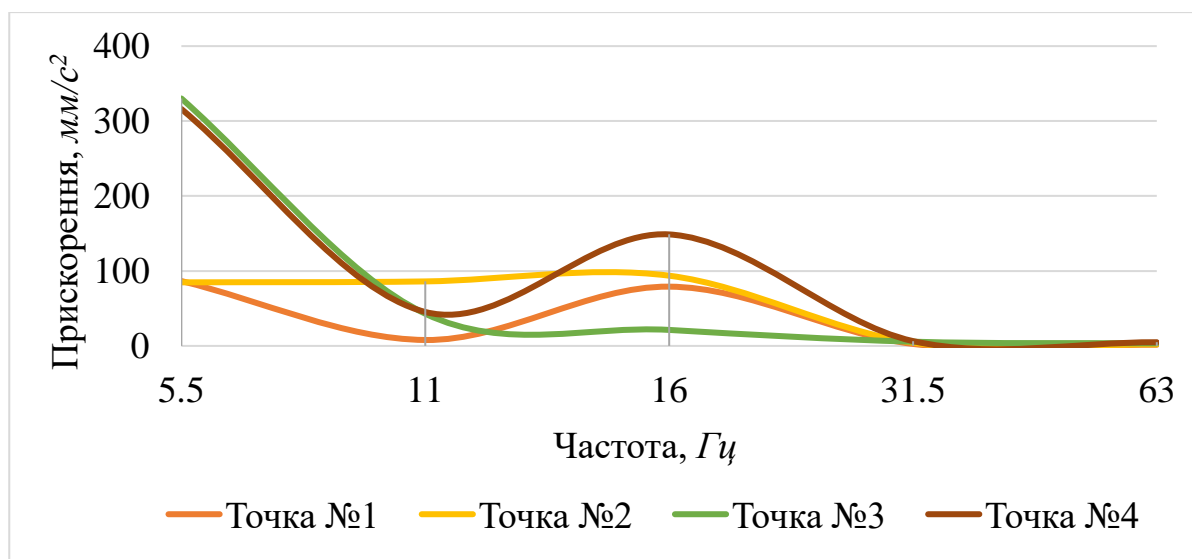


Рис 5. Графік прискорення у контрольних точках

Таким чином при динамічній дії від руху поїзда метрополітену, існує близькість власних частот коливань будівель підвищеної поверховості та власних частот вертикальних коливань перекриттів верхніх поверхів. Цю особливість динамічних відгуків елементів несучих конструкцій будівель підвищеної поверховості необхідно враховувати до початку будівництва об'єкта, застосовуючи додаткові захисні заходи.

У роботі вирішена задача розрахунку будівлі на вплив метрополітену з урахуванням демпфуючих властивостей ґрунту (рис. 6). Для врахування поглинаючих властивостей ґрунту використовується коефіцієнт демпфування. Фізичний сенс демпфування матеріалу зумовлений переносом механічної енергії у теплову. Це відбувається за рахунок мікропластичності матеріалів. В'язке демпфування може використовуватися при будь-якій формі збудження коливань.

Розрахункова модель також виконувалась із використанням методів прямого інтегрування рівнянь руху. Завдання розглядається у лінійній та нелінійній постановці для метрополітену неглибокого закладення. У процесі дослідження було виконано ряд розрахунків із урахуванням нелінійних властивостей ґрунту, різного діапазону частот, викликаних рухом поїздів та поетапного зведення будівлі.

Ґрунт змодельований плоскими фізично нелінійними універсальними скінченними елементами. Було задано вертикальне динамічне навантаження уздовж осі Z величиною 5 т з частотою коливань $\omega = 135 \text{ рад}$, що відповідає $f = 20 \text{ Гц}$, кількість врахованих форм коливань – 100. Виконано розрахунок з кроком інтегрування $0,1 \text{ с}$, час інтегрування – 30 с .

Проводився розрахунок будівлі з товщиною плит перекриття $200, 300$ і 400 мм . Результати розрахунків покладені в основу визначення коефіцієнта динамічності β у залежності від періоду коливань T_i та перерізу плит перекриття.

Коефіцієнт динамічності β обчислювався за такими формулами:

$$\begin{cases} \text{при } T_i \leq 0,5 \text{ с} & \beta_i = 1 + 4T_i; \\ \text{при } 0,5 \text{ с} < T_i \leq 3 \text{ с} & \beta_i = 3; \\ \text{при } T_i > 3 \text{ с} & \beta_i = \frac{8}{T_i^{9/10}}. \end{cases} \quad (8)$$

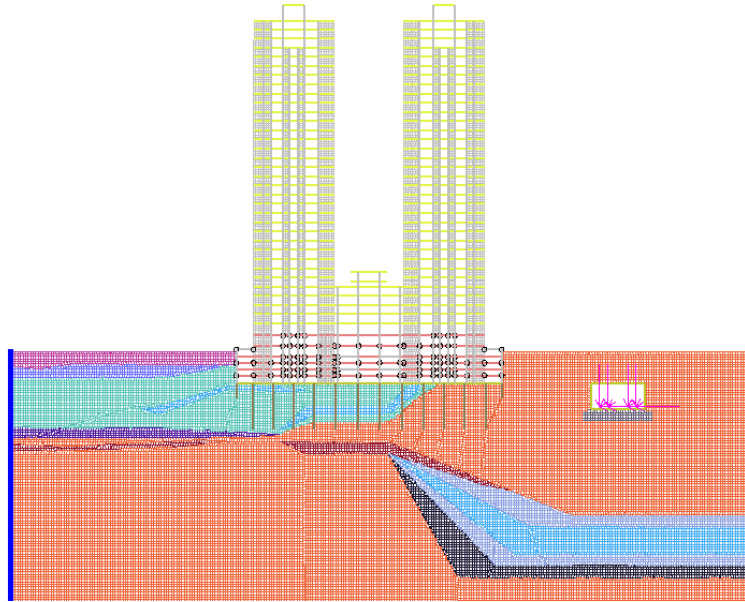


Рис. 6. Розрахункова модель будівлі із урахуванням властивостей ґрунту

Використовуючи дані розрахунку і відповідний запропонований алгоритм, побудовано графіки залежності коефіцієнта динамічності β від періоду коливань T_i та перерізу залізобетонних плит перекриття (див. рис. 7). Аналіз графіків показує, що зі збільшенням товщини плити перекриття – коефіцієнт динамічності β має тенденцію до зменшення, а отже, будівля стає стійкою до вібрацій. Також, у ході експериментальних досліджень встановлено, що зі збільшенням товщини плит перекриття спостерігається зменшення значення горизонтального переміщення.

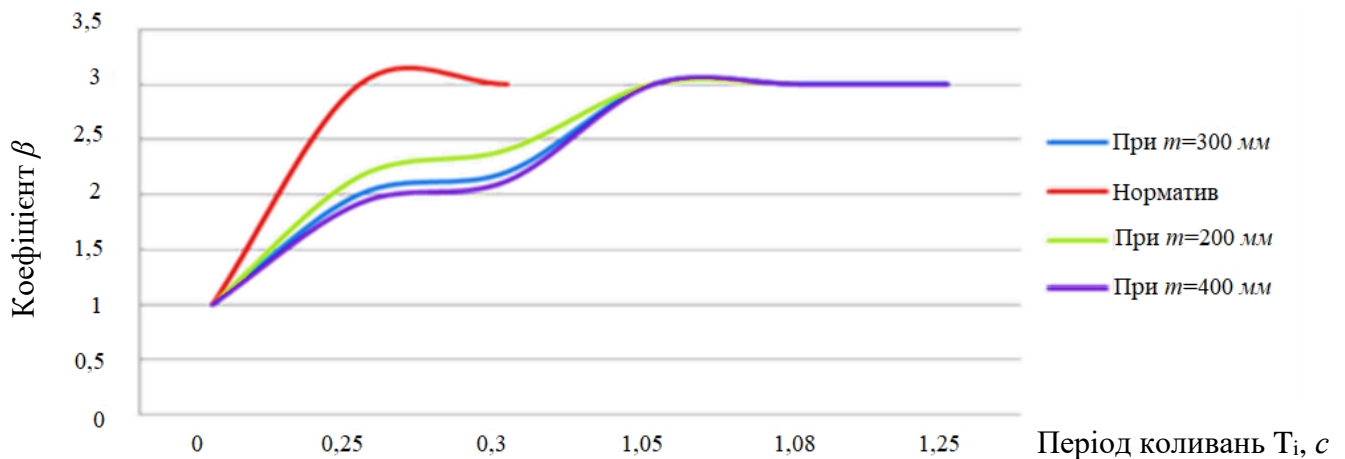


Рис.7. Графік зміни коефіцієнтів динамічності β у залежності від періоду коливань T_i та товщини плит перекриття

Дослідження рівнів вібрації монолітної плити перекриття, які викликані рухом поїздів метрополітену показало, що рівні коливань істотно змінюються при проходженні різних поїздів. Найбільші рівні віброприскорення плити перекриття отримані для вертикальної вібрації у діапазоні частот від 16 до 80 Гц і перевищують значення за іншими напрямками більш ніж на 15 дБ.

У результаті проведення чисельного експерименту отримано дані, які показують що рух вагона метрополітену створює прискорення на верхньому поверсі, яке вдвічі перевищує допустиме. Тому рекомендується при будівництві використовувати демпферні пристрої та приймати конструктивні заходи щодо зниження рівня проникаючої вібрації. У кожному конкретному випадку потрібно виконувати ретельний підбір параметрів віброзахисних заходів із урахуванням фізичних моделей застосованих систем, конкретних технічних і геологічних умов.

Також, у третьому розділі наведено чисельний експеримент щодо аналізу поведінки несучих конструкцій будівлі, що реконструюється і знаходиться над метрополітеном глибокого закладення.

Дана будівля розташована за адресою: вул. Богдана Хмельницького, 7, м. Київ. Зведення було розпочато в 2008 році. У 2016 році були виконані роботи по обстеженню та виявленню реального технічного стану несучих конструкцій незавершеного будівництва.

Зараз там знаходиться Музей Історії міста Києва. Особливістю забудови є часткове її розташування біля підземної частини споруди станції метрополітену «Театральна».

Для визначення чисельних значень рівнів вібрації за допомогою віброметра проводилися вимірювання трьома віброперетворювачами у режимі автоматичної реєстрації середньоквадратичних і максимальних рівнів віброприскорення, згодом усереднені 1, 5 і 10 с. Згідно з нормативним документом ДСТУ-Н.В.1.2-18 технічний стан обстежених конструкцій каркасу визначений як непридатний до нормальної експлуатації (стан III). Показники міцності бетону залізобетонних монолітних конструкцій визначали неруйнівним склерометричним методом.

Реакція будівлі та її елементів залежать не тільки від рівня і спектрального складу коливань, які передаються через ґрунт, а й від динамічних характеристик несучих і огорожувальних конструкцій. Головним чином це стосується частот власних горизонтальних коливань будівель і вертикальних коливань елементів перекриттів, виду ґрунту та ін.

Огинаюча вузькосмугового спектру віброприскорення плити перекриття – це суцільна лінія за напрямком трьох ортогональних вісей, отримана за результатами багаторазових вимірювань вібрацій (не менше 3 годин в кожній точці, інтервал руху поїздів ~ 5 хвилин). Рівні віброприскорення L_a представлені у дБ за наступною залежністю:

$$L_a = 20 \log_{10} \left(\frac{a}{1 \cdot 10^{-6}} \right), \quad (9)$$

де $1 \cdot 10^{-6}$ – опорний рівень віброприскорення a , m/c^2 ; або опорне значення віброшвидкості $5 \cdot 10^{-8}$ m/c (при розрахунку рівнів віброшвидкості).

Аналіз руху поїздів метрополітену показав, що зі збільшенням кількості пасажирів (години пік між 17 і 19 годинами) рівні віброприскорення на 3–3,5 дБ вище по відношенню до часу з 19 до 22 годин.

Обробка результатів вимірювань рівнів вібрації показує (рис. 8), що найбільші рівні віброприскорення плити перекриття першого поверху отримані для вертикальної вібрації у діапазоні частот від 13 до 80 Гц і загалом перевищують значення за іншими напрямками, в окремих випадках на 40 дБ.

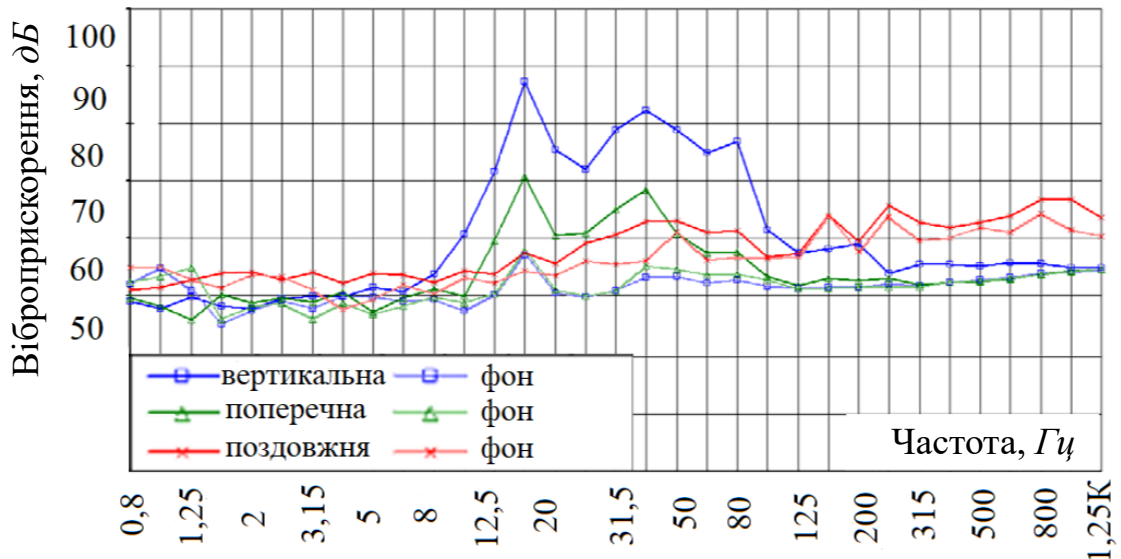


Рис.8. Спектрограма максимальних рівнів вібрації плити перекриття

Розглянуто взаємодію основи і наземної частини будівлі. Будівля складається із двох об'ємів різної висоти, що призводить до різних навантажень окремих ділянок на основу. Для визначення НДС будівлі з урахуванням перетворення імпульсу при переході його від ґрунту до фундаменту будівлі було виконано розрахунок конструкції будівлі і ґрунтового масиву за допомогою методу скінченних елементів. Моделювання тривимірного ґрунтового масиву здійснено на основі даних інженерно-геологічних вишукувань за допомогою системи ГРУНТ у ПК ЛІРА САПР.

Вирішення завдання щодо передачі динамічних впливів через ґрунтову основу на несучі конструкції виконується комп'ютерним моделюванням декількома способами. У представленій роботі пропонується моделювання ґрунтового масиву об'ємними скінченними елементами. Цей варіант моделювання дає мінімальну похибку при передачі вібродинамічних параметрів відносно до результатів вимірювань. Тунель метрополітену із залізобетонною оправою змодельований пластинчастими скінченними елементами. Вібродинамічні впливи прикладаються в місці їхнього виникнення, тобто безпосередньо у тунелі.

При моделюванні реальної роботи будівлі на ґрунтовій основі застосовано систему МОНТАЖ+. Задано три монтажні стадії: стадія 1 – моделювання ґрунтової основи; стадія 2 – прокладання тунелю метрополітену; стадія 3 – зведення будівлі над лінією метрополітену.

Для розрахунку даної схеми на дію вібродинамічних впливів

метрополітену, до оголовків рейок прикладалося динамічне навантаження у вигляді синусоїдального впливу по вісях X та Z . На рис. 9, 10 наведена розрахункова схема будівлі у ПК ЛІРА-САПР. Такий спосіб формування системи «грунтовий масив–елементи наземних і підземних споруд» представляється найбільш перспективним з точки зору прогнозування поведінки будівель і споруд при передачі постійно діючих динамічних впливів через ґрунтову основу. Період часу, за який були визначені динамічні характеристики, прийнятий рівним 10 секундам. У результаті розрахунку отримані параметри вертикальних і горизонтальних коливань контрольних точок (рис. 11).

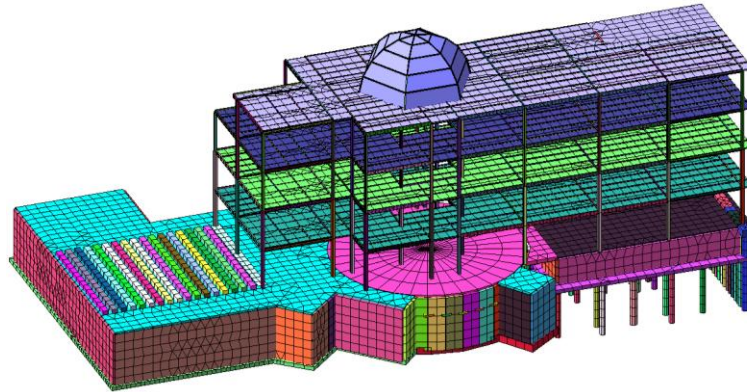


Рис. 9. Скінченно-елементна модель Музею Історії м. Києва

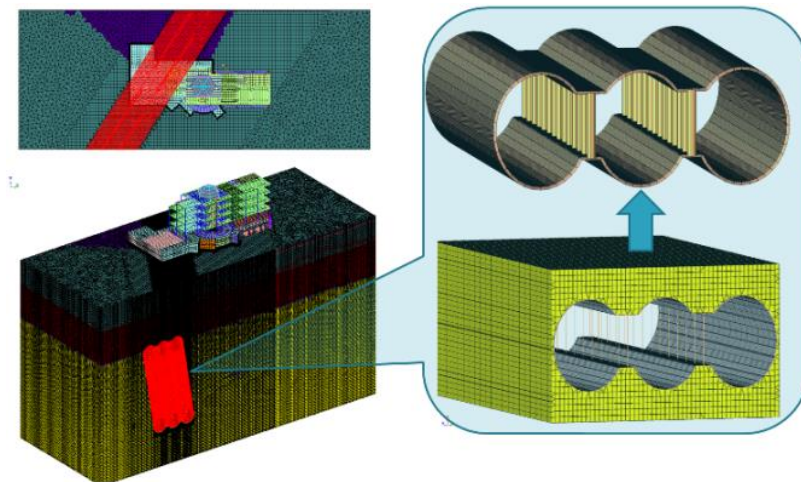


Рис. 10. Модель будівлі з ґрунтовим масивом та тунелем метрополітену

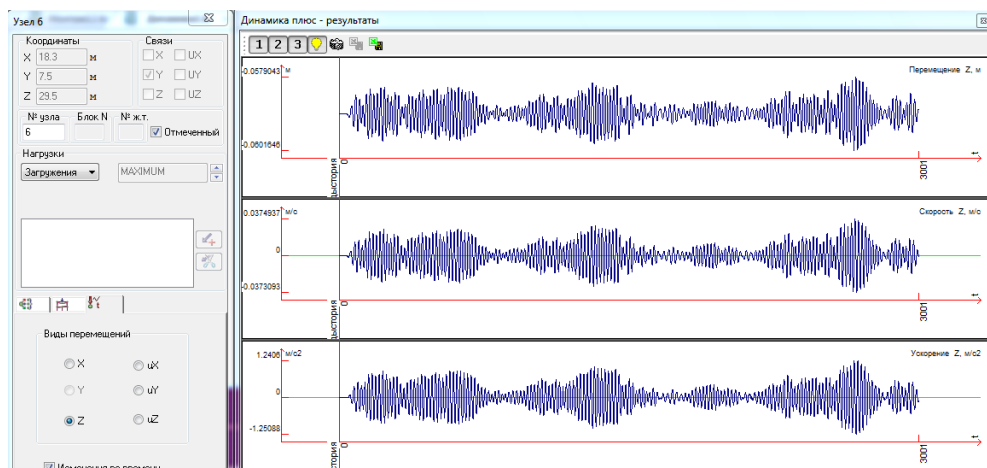


Рис. 11. Результати розрахунку у точці на вершині куполу

Отримані результати (рис. 11) були опрацьовані та співставленні з експериментальними вимірами коливань, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Співставлення експериментальних даних з розрахунковими

Точка	Експериментальні дані			Результати розрахунку		
	Горизонтальне переміщення, мм	Швидкість, мм/с	Прискорення, мм/с ²	Горизонтальне переміщення, мм	Швидкість, мм/с	Прискорення, мм/с ²
1	4,97	32,61	1079,3	5,79	37,49	1240,6
2	3,55	5,85	197,44	3,17	5,47	184,53
3	4,76	4,95	142,9	4,45	4,42	153,67

Важливо відзначити, що отримані результати відрізняються менше ніж на 15% для частоти 16,25 Гц, де отримані найбільш високі рівні вібрації при проходженні поїздів метрополітену.

У **четвертому розділі** досліджено на вібродинамічні впливи, як нові будівлі, так і будівлі, які експлуатуються певний час, у тому числі, й історичні будівлі. Експериментальна частина досліджень полягала в інструментальному визначенні рівня вібраційних динамічних коливань від дії метрополітену неглибокого закладення на будівлі, що експлуатуються певний час та знаходяться у зоні впливу тривалих динамічних вібраційних навантажень. Об'єкти, які досліджувались, є характерними для багатьох районів міста, оскільки як трамвайні лінії, так і метрополітен, мають значну протяжність у межах щільної міської забудови, в тому числі й у центральній частині міста.

Виконано натурне обстеження будівлі на вплив метрополітену, та встановлено, що при постійному впливі вібродинамічних навантажень виникають пошкодження несучих конструкцій. Коливання від метрополітену були розкладені за всіма частотами від 2 до 100 Гц та були обрані найбільш небезпечні для конструкції – це такі, які можуть резонувати з власною частотою коливань несучих конструкцій будівлі. Експериментально підтверджено, що найбільш вразливі точки – це верхні поверхи будівель, де власна частота коливань є найбільшою, тож і небезпека резонансу також. Для отримання вихідних даних щодо вібродинамічних впливів були використані результати замірів коливань безпосередньо у тунелях метрополітену. Виконано порівняння результатів розрахунків із результатами вимірів вібрації у контрольних точках несучих конструкцій будівлі та на поверхні землі. Усі виміри проводились сертифікованими датчиками.

Один із об'єктів – це житловий будинок по вул. Васильківська 38 в м. Києві, що розташований вздовж діючої ділянки Куренівсько-Червоноармійської лінії метрополітену мілкового закладення, а саме між станціями «Васильківська» та «Виставковий центр». Будинок розташований паралельно лінії метрополітену. Відстань у плані від зовнішньої стіни будинка до осі колії складає 22,5 м, а до габариту тунелю – 19,5 м.

Вимірювання віброшвидкості проводилися у режимі реального масштабу часу в вузькосмуговому діапазоні частот із подальшим аналізом та комп'ютерною обробкою результатів вимірювань. Рівні вібрації оцінювалися за умови проїзду навпроти точки вимірювання двадцяти поїздів метрополітену відповідно до графіка руху, заповненням вагонів і їхнім технічним оснащенням. У результаті проведених віброакустичних вимірювань отримані рівні віброшвидкостей під рейкою, на лотку та на обробленні тунелю під час руху поїздів метрополітену, на звичайних рейках та на тих, які проходять по віброзахисному шляху на блоках EBS.

Найменша частота основного тону власних коливань у поперечному напрямку склала $f = 1,33\text{--}3,57$ Гц. Для максимально точної оцінки вібраційного впливу метрополітену використані дані датчиків із точки вимірювання, що знаходиться безпосередньо на основі рейки у тунелі метрополітену. Віброакустичні вимірювання коливань у тунелі дають нам вичерпну інформацію для подальшого аналізу вібраційних впливів. Результати представлені у вигляді графіків логарифмічних рівнів віброшвидкості (дБ) у діапазоні 1/3-октавних смуг із середньгеометричними частотами (від 2 Гц до 100 Гц) (рис. 12).

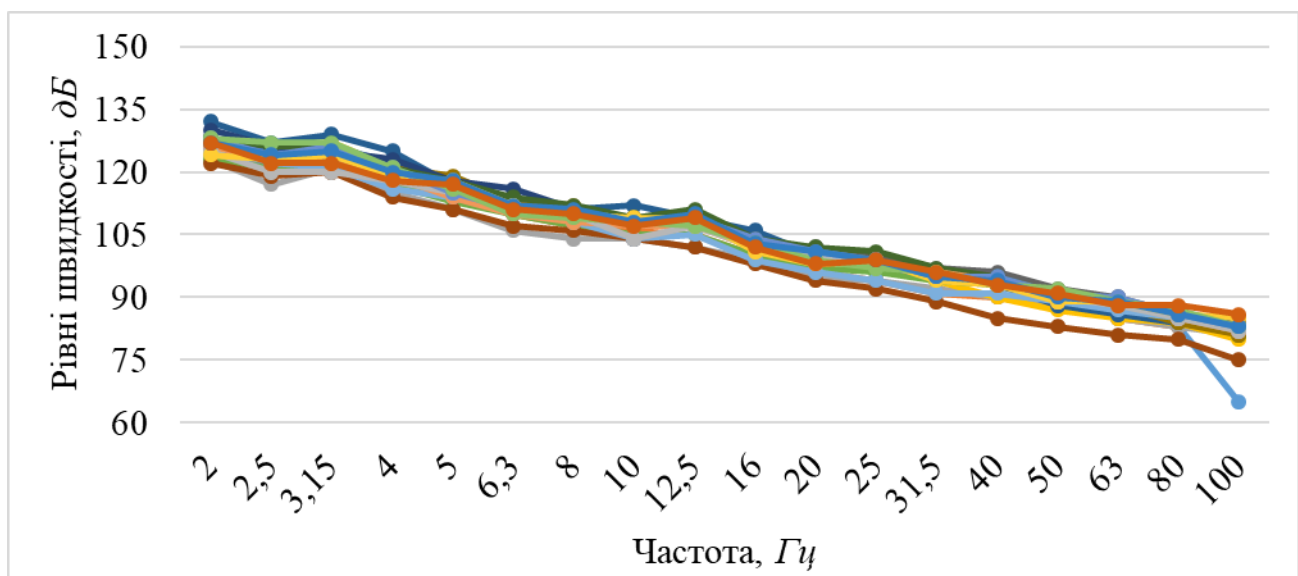


Рис. 12. Рівні віброшвидкості під рейкою від поїздів метрополітену, дБ

Для завдання вихідних даних у ПК ЛПА САПР необхідно отримати дані у вигляді віброшвидкості (м/с). Для цього вирішується рівняння десяткового логарифму (9) відносно швидкості:

$$V_i = \frac{10^{\frac{L_v}{20}}}{2 \cdot 10^7}, \quad (10)$$

де L_v – рівні віброшвидкості, дБ; V_i – віброшвидкість, м/с.

При чисельному моделюванні вібраційних навантажень використано ряд мінімальних, середньоквадратичних, та максимальних значень рівнів віброшвидкості за 18 полосами з частотами від 2 до 100 Гц.

Запропонована методика чисельного моделювання динамічних навантажень в часі у ПК ЛПА-САПР передбачає задання впливів у вигляді

акселерограми віброприскорень. Для кожного моменту часу вирішується наступне рівняння:

$$\sum_{n=0}^i a = A_i \sin(\omega_i \cdot t_n) + A_{i+1} \sin(\omega_{i+1} \cdot t_{n+1}), \quad (11)$$

$$A_i = V_i \cdot \nu, \quad \omega_i = 2\pi \cdot \nu, \quad (12)$$

де A_i – віброприскорення, ω_i – циклічна частота, які обчислюються по кожній частоті ν від 2 Гц до 63 Гц, t_n – момент часу від 0 до 15 с, крок 0,1 с.

Отримані результати задаються у вигляді акселерограми навантаження (рис. 13) на рейку у ПК ЛІРА-САПР.

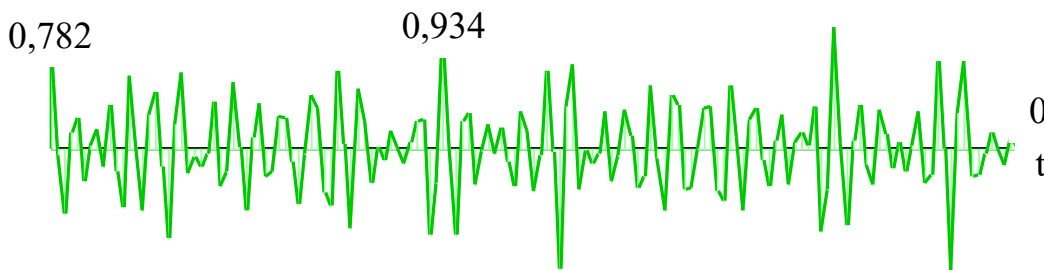


Рис. 13. Задання навантаження від дії метрополітену у модулі «Динаміка в часі» у ПК ЛІРА САПР

Алгоритм розрахунку зводиться до наступного:

1. Формується розрахункова модель будівлі і виконується її подальший розрахунок на заданий вплив у лінійній постановці, за результатами якого визначаються: величини зосереджених мас у кожному рівні за висотою, частотою і періодом власних коливань; ординати форм власних коливань; величини інерційних сил у кожному рівні за висотою; виконується розрахунок конструювання, підбираються площі робочої та конструктивної арматури для залізобетонних конструкцій.

2. Створюється чисельна модель ґрунту на основі даних геологічних вишукувань. Динамічні характеристики ґрунту змодельовані за допомогою скінченних елементів (СЕ) 281–284, а саме фізично нелінійний прямокутний, трикутний та універсальний прямокутний СЕ плоскої задачі (ґрунт). Даний СЕ призначений для моделювання односторонньої роботи ґрунту на стиск із урахуванням зсуву за схемою плоскої деформації відповідно до закону Кулона. Застосовується у нелінійному покроковому процесорі при розрахунках гірничих виробок і тунельних проходок.

3. У подальшому, лінійна розрахункова модель (рис. 14) перетворюється у фізично нелінійну модель. Для врахування ефекту демпфування визначаються та задаються коефіцієнти Релея для матеріалів конструкції та ґрунтів. Задаються граничні скінченні елементи СЕ-67 у моделі основи, які створюють безмежний ґрунтовий масив. Даний СЕ призначений для моделювання плоского безмежного ґрунтового масиву, розташованого за межами розрахункової схеми. Ця функція реалізована за участю автора для запобігання ефекту відбиття при накладанні граничних умов на ґрунт.

4. Формується історія навантаження розрахункової моделі, в яку послідовно входять: повне вертикальне навантаження; покроково додаються горизонтальні динамічні сили. Загальні динамічні впливи у системі формуються з узгодженої матриці мас статичних впливів за допомогою модуля ДИНАМІКА ПЛЮС у ПК ЛІРА САПР.

5. Для врахування впливу фактору часу на розповсюдження вібродинамічних коливань використовується модуль ДИНАМІКА В ЧАСІ (рис. 13). Навантаження моделюються за допомогою узагальненого по всьому частотному діапазону графіку динамічних віброприскорень (рис. 14). Задається акселерограма впливів, крок і час інтегрування, на підставі яких буде отримано мінімальну кількість моментів, для кожного з яких будуть сформовані результати.

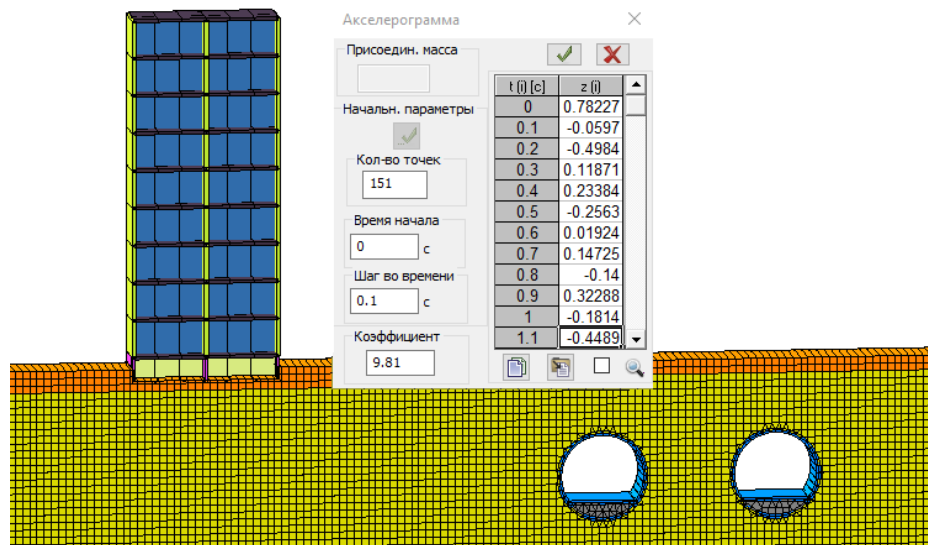


Рис. 14. Розрахункова модель панельного житлового будинку біля метрополітену мілкового закладення

У результаті розрахунку визначаються переміщення, швидкості і прискорення вузлів, а також зусилля і напруження у контрольних точках (КТ) на несучих конструкціях, обчислені в усі задані моменти часу (рис. 15).

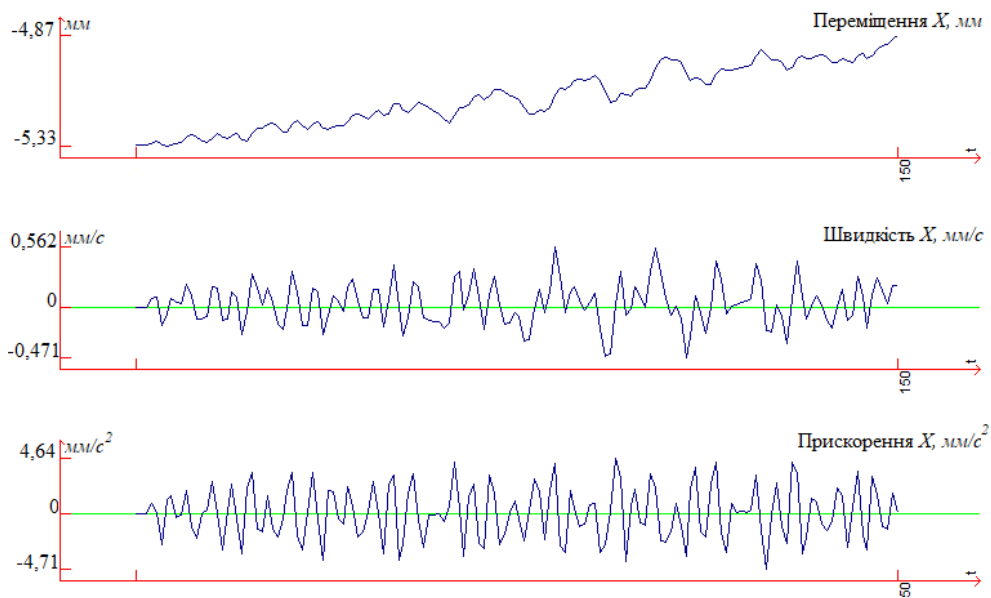


Рис. 15. Результати розрахунку у КТ на 4-му поверху вздовж осі X

Із аналізу графіків результатів переміщень, прискорень, та швидкостей у контрольних точках будівлі на рис. 15 видно, що при розрахунках за авторською методикою результати більш наближені до експериментальних даних. На графіку переміщень у контрольних точках спостерігається збільшення переміщень, особливо у верхніх точках будівлі. Це пояснюється тим, що виникають явища резонансу близькі до частот власних коливань будівлі. При розрахунках за авторською методикою враховується більша кількість параметрів, які впливають на характер деформації несучих конструкцій будівель та споруд під вібродинамічним впливом від руху поїздів метрополітену.

ВИСНОВКИ

1. Проведено теоретичні дослідження напружено-деформованого стану конструкцій будівель при вібродинамічних впливах метрополітену. Показано, що вплив метрополітену на несучі конструкції будівель є значним та за характером впливу суттєво відрізняється від впливу сейсмічних навантажень.

2. Розроблена авторська методика, яка найбільш точно відображає роботу конструкції під час вібродинамічних впливів метрополітену. Це дає можливість проводити коректні чисельні розрахунки та враховувати подібний вплив на будівлі та споруди, в тому числі з урахуванням попередніх деформацій несучих конструкцій. Запропоновано алгоритм розрахунку конструкцій будівель при дії вібродинамічного впливу із використанням уточненої методики розрахунку, методу скінченних елементів та авторської методики.

3. Виконано оцінку впливу глибини залягання метрополітену та відстані від джерела коливань до будівлі та створена методика розрахунку з урахуванням цих факторів. Достовірність запропонованої методики підтверджується виконаним порівнянням із експериментальними даними та становить 12,3%.

4. Розроблена авторська методика дозволяє вирішити комплексну задачу визначення інтенсивності вібродинамічного впливу метрополітену на несучі конструкції будівельного об'єкту. Виконано верифікацію розробленої методики на основі порівняння результатів чисельних експериментів з результатами натурних вібраційних обстежень історичної будівлі музею в м. Києві, збіжність сягає біля 14,9%.

5. Реалізовано алгоритми, які дозволяють виконати розрахунок на вібродинамічні впливи метрополітену із врахуванням фактору часу. Проведені чисельні розрахунки і експериментальні дослідження панельної будівлі житлового призначення показали збіжність результатів на 9,7%.

6. Розроблено практичні рекомендації щодо визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій будівель та споруд при вібродинамічних впливах метрополітену, які дають можливість отримати попередні дані про майбутню поведінку конструкцій будівлі, і зробити попередній висновок про можливість будівництва на обраній площадці.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України

1. Башинський Я.В. Методы проектирования объектов строительства на базе BIM-технологий / М.С. Барабаш, Я.В. Башинський // Проблеми розвитку міського середовища: зб. наук. праць. – 2012. – Вип. 7. – С. 22-28.
2. Башинський Я.В. Методика формування розрахункової моделі об'єкту незавершеного будівництва при впливі метрополітену/ Я.В. Башинський // Проблеми розвитку міського середовища: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 1(20). – С. 33–37.
3. Башинський Я.В. Вібраційний вплив метрополітену на напружено-деформований стан несучих конструкцій/ Я.В. Башинський // Проблеми розвитку міського середовища: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 2(21). – С. 17–25.
4. Максименко В.П. Науковий супровід об'єкту незавершеного будівництва з несучими стінами на граничні сейсмічні навантаження в м. Одеса / М.С. Барабаш, В.П. Максименко, Я.В. Башинський // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – 2015. – Вип. 82. – С. 156–165.
5. Лапенко О.І. Врахування впливу динамічних навантажень метрополітену на напружено-деформований стан несучих конструкцій / О.І. Лапенко, Я.В. Башинський // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – 2015. – Вып. 82. – С. 121–125.
6. Башинський Я.В. Влияние динамических нагрузок метрополитена на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций / М.С. Барабаш, Ю.В. Гуца, Я.В. Башинський // Проблеми розвитку міського середовища: зб. наук. праць. – 2016. – Вип. 2(16). – С. 17–27.
7. Барабаш М.С. Обґрунтування впливу метрополітену на несучі конструкції будівель чисельними методами / М.С. Барабаш, В.П. Максименко, Я.В. Башинський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: сб. науч. трудов. – 2016. – Вип. 65. – С. 176–183 (*видання входить до наукометричної бази Index Copernicus*).

Публікації у збірниках праць за матеріалами конференцій

8. Башинський Я.В. Определение вибрационного влияния движущегося транспорта в городах плотной застройки / М.С. Барабаш, М.А. Ромашкіна, Я.В. Башинський // Proceedings of the 19th Conference for Junior Researchers Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management. – Vilnius, Lithuania: Technika, 2016. – P. 30–33.
9. Barabash M.S. Numerical study of building vibration caused by traffic of underground trains / M.S. Barabash, M.A. Romashkina, A. Leonenko, Y.V. Bashinsky, M. Sydorchenko // Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management. – Vilnius, Lithuania: Technika, 2017. – P. 33–37.
10. Barabash M.S. Stress-strain state of the structure in the service area of underground railway / M.S. Barabash, A. Korjakins, Y.V. Bashinsky / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 251. – P. 27–29.

АНОТАЦІЯ

Башинський Я.В. Вплив динамічних навантажень метрополітену на напружено-деформований стан конструкцій будівель та споруд. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний авіаційний університет МОН України, м. Київ, 2019 р.

Мета дисертаційної роботи полягає у визначенні напружено-деформованого стану відповідальних конструкцій будівель і споруд при впливі вібродинамічних навантажень метрополітену, які можуть призвести до часткового або повного руйнування несучих конструкцій будівлі.

На основі проведених експериментально-теоретичних досліджень, вирішена наукова задача, що полягає у розробці методики оцінки вібродинамічного впливу від дії метрополітену, яка використана для ретроспективного нелінійного аналізу будівлі, на яку поширюється цей вплив.

Автором запропоновано:

– при новому будівництві цивільних будівель у зоні впливу метрополітену, рекомендується використовувати методику розрахунку на вібродинамічні навантаження із урахуванням фактору часу, а також проводити заходи щодо захисту конструкцій або будівель у вигляді демпфуючих пристроїв, або використовувати демпфуючі властивості ґрунту;

– при проведенні реконструкції будівель, рекомендується встановлювати захисні екрани у ґрунті для запобігання негативного впливу від метрополітену на несучі конструкції будівель та споруд.

Ключові слова: несучі будівельні конструкції, конструктивна нелінійність, динамічні вібраційні впливи, вплив метрополітену, чисельні експерименти, напружено-деформований стан.

АННОТАЦИЯ

Башинский Я.В. Влияние динамических нагрузок метрополитена на напряженно-деформированное состояние конструкции зданий и сооружений. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный авиационный университет МОН Украины, г. Киев, 2019р.

Цель диссертационной работы заключается в определении напряженно-деформированного состояния ответственных конструкций зданий и сооружений при воздействии вибродинамических нагрузок от метрополитена, которые могут привести к частичному или полному разрушению несущих конструкций здания.

Автором предложено:

– при новом строительстве гражданских зданий в зоне влияния метрополитена рекомендуется использовать методику расчета на вибродинамические нагрузки с учетом фактора времени, а также проводить

мероприятия по защите конструкций или зданий в виде демпфирующих устройств, или использовать демпфирующие свойства почвы;

– при проведении реконструкции зданий, рекомендуется устанавливать защитные экраны в почве для предотвращения негативного влияния метрополитена на несущие конструкции зданий и сооружений.

Ключевые слова: несущие строительные конструкции, конструктивная нелинейность, динамические вибрационные воздействия, влияние метрополитена, численные эксперименты, напряженно-деформированное состояние.

ABSTRACT

Bashynskiy Y.V. Influence of dynamic loads from subway on stress-strain state of building structure. – Manuscript copyright.

Thesis for the degree of a Candidate of Technical Sciences by specialty 05.23.01 – building constructions, buildings and structures. – National Aviation University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The purpose of the thesis is to determine the stress-strain state of responsible constructions of buildings under the vibrodynamic influences from the subway, that can lead to partial or complete destruction of load-bearing structures.

On the basis of the experimental and theoretical researches, the scientific problem was solved. It consists in the development of methodology for estimation vibrodynamic influence from the subway, that is used for the retrospective nonlinear analysis of the building to which this influence applies.

The practical value of the work consists in: take into account the factors that can influence the formation of stress-strain state of load-bearing structures under vibrodynamic impacts; provide recommendations for modeling the process of subway impact on load-bearing structures for future consideration in the design. Forecast of stress-strain state in process of designing and reconstructing of buildings allows us to estimate the possible adaptability of buildings and structures to vibrodynamic effects, in addition to traditional methods for determination of the constructive safety by the boundary states. The results of the work were used to provide recommendations in the buildings design in zone of negative impact from subway vibration on bearing structures and for the development of basic methods for protection of structures.

The author suggested:

– for new construction of civil buildings in zone of influence from the subway it is recommended: to use the methodology for calculating vibrodynamic loads with taking into account the time factor; to protect load-bearing structures of buildings with damping devices, or to use the damping properties of the soil;

– for buildings under reconstruction, it is recommended to install protective shields in the soil to prevent the negative impact from the subway on the load-bearing structures of buildings.

Keywords: load-bearing structures, constructive nonlinearity, dynamic vibration loads, influence from the subway, numerical experiments, stress-strain state.