

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Литвин Олександр Володимирович

«Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

Детальний аналіз дисертації Литвина О.В. «Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах» дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Актуальність теми та її зв'язок з науковими програмами

Актуальність теми для сучасного будівництва та цивільної інженерії викликана тим, що майже всі будівлі і споруди піддаються різним динамічним впливам. Зокрема, це викликано можливими сейсмічними впливами (за останні роки навіть у центральній частині України спостерігаються сейсмічні поштовхи до 4 балів), транспортними навантаженнями та, що особливо актуально останні роки, військовою агресією РФ тощо. В результаті обстеження будівель і споруд, які експлуатуються в умовах динамічних впливів, підтверджують суттєве зменшення експлуатаційної придатності окремих конструкцій, їх вузлів та об'єктів в цілому. Більшість динамічних впливів передається на будівлі і споруди через ґрунтову основу. Тому дослідження оцінювання напружено-деформованого стану (НДС) системи «основа – фундамент – будівля» та оптимізації конструктивних рішень при динамічних впливах є актуальною задачею геотехніки та будівельних конструкцій з метою забезпечення їх проектного рівня надійності на всіх етапах життєвого циклу.

Дослідження виконувалися в рамках науково-дослідних робіт:

1) держбюджетної науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України 5-ДБ-2017 «Розвиток дилатансійної теорії ґрунтового середовища для

заглиблених споруд з урахуванням жорсткості, технології зведення, характеру навантажень» (наказ МОНУ №199 від 10.02.2017р., наказ КНУБА №16/4 від 15 лютого 2017 року, номер державної реєстрації 0117U004845);

2) науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи «Вдосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій і основ» №0121U113033 (наказ №243 від 03.06.2021 року).

Наукова новизна одержаних результатів

Детальний аналіз матеріалів дисертаційної роботи та наукових публікацій автора підтверджує досягнення мети дослідження та вирішення поставлених задач.

У роботі представлено нову реалізацію математичної моделі для оцінювання взаємодії будівельних конструкцій із ґрунтовою основою, що описує процеси зміни об'єму ґрунту в умовах компресійного стиску.

Запропоновано методику визначення параметрів жорсткості ґрунтової основи при динамічних впливах, яка враховує зміну об'єму та перерозподіл зон стисливої товщі основи під впливом статичних навантажень.

Запропоновано методику дослідження динамічної поведінки будівель із використанням прямих динамічних методів, що дозволяє визначати реальні деформації конструкцій у часі при взаємодії через ґрунтову основу, а також аналізувати вибухові навантаження за допомогою алгоритму CONWEP.

Запропоновано методику, що дозволяє знизити сейсмічний вплив на динамічний відгук будівель шляхом введення додаткових ригельних систем, які впливають на корекцію резонансних частот і на зміну просторової жорсткості будівлі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтування наукових положень дисертації витікає з аналізу науково-технічної та нормативної літератури, чіткого формулювання задач досліджень, використання апробованих апаратів класичної і нелінійної механіки ґрунтів, сучасних методів розв'язання пружно-пластичної задачі методом скінчених елементів (МСЕ) для визначення НДС «основа – фундамент – будівля», ретельним проведенням чисельного експерименту з використанням сучасного

програмного забезпечення у програмних комплексах Simulia Abaqus, перевірки адекватності моделей порівнянням числових результатів із даними стандартних лабораторних випробувань ґрунтів, верифікації розрахунків тощо.

Наукові висновки органічно витікають з проведених досліджень та їх порівняння, що підтвердило достатню відповідність дослідних даних їх розрахунковим величинам. Зокрема, висновки ґрунтуються на детальному аналізі взаємодії будівель із ґрунтовою основою в умовах статичних та динамічних навантажень. Це дозволило автору науково обґрунтувати рекомендації щодо оптимізації фундаментів багатопверхових будівель, що підтверджується як числовими експериментами, так і їхньою апробацією на реальних об'єктах.

Практичне значення результатів досліджень полягає у наступному.

Удосконалено методика проектування основ і фундаментів багатопверхових будівель при динамічних впливах, зокрема на територіях із високою сейсмічною інтенсивністю. Використання запропонованої реалізації поведінки ґрунту дозволяє оптимізувати армування пальових ростверків (в окремих зонах зменшити кількість арматури до 30%) та довжину окремих паль.

Є можливість врахування особливостей поведінки ґрунтової основи при її компресійному ущільненні в широкому діапазоні тисків (напружень), ґрунтуючись на результатах стандартних лабораторних випробувань. Це характерно для фундаментів багатопверхових будівель з середнім тиском під подошвою 0,25...0,3 МПа.

Удосконалено конструктивну схему багатопверхових будівель шляхом збільшення її жорсткості за рахунок додавання ригелів (балок), які дають змогу ефективно знизити крутильні коливання та сприяють більш рівномірному розподілу напружень у несучих елементах.

Запропоновано конструктивні рішення для зменшення впливу вибухових ударних хвиль на несучі елементи будівлі.

Результати досліджень упроваджено при проектуванні об'єкта будівництва «Будівництво житлового будинку з вбудованими приміщеннями

громадського призначення на вул. Академіка Заболотного, 148 в Голосіївському районі м. Києва. 4-ий пусковий комплекс».

Аналіз змісту та завершеності дисертації

Дисертація Литвина О.В. складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 144 найменувань, серед яких 90 англійською мовою, а також одного додатку. Загальний обсяг роботи становить 180 стор.

Зміст анотацій українською та англійською мовами є ідентичним і повною мірою відображає зміст дисертації та в достатній мірі висвітлює її основні результати й висновки.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, науково сформульовано її мету, що відповідає обраній темі, та завдання, викладено об'єкт і предмет дослідження, публікації та апробацію наукових розробок тощо.

У **першому розділі** проаналізовано проблеми взаємодії багатоповерхових будівель із ґрунтовими основами та забезпечення надійності їх експлуатації при динамічних і статичних навантаженнях. При цьому наведено основні підходи для оцінювання взаємодії системи «основа – фундамент – будівля». Основний фокус поставлено на оцінюванні НДС ґрунтової основи, на процесах її консолідації, на зсувну стійкість та осідання, що є основними причинами нерівномірної деформації й перевантаження будівель. Основну увагу зосереджено на МСЕ, що дає можливість просторового аналізу системи «основа – фундамент – будівля» і відповідно враховує особливості розрахункової моделі.

Обґрунтовано відсутність ефективних методик оцінювання стійкості будівельних конструкцій при динамічних впливах, в т.ч. на сейсмічні та вибухові навантаження, для яких чисельне моделювання в програмних комплексах дає можливість підвищити точність прогнозів та оптимізувати проєктні рішення для відповідних умов. Зазначено перспективні напрями досліджень: штучний інтелект, інтеграція інноваційних матеріалів та методик для стабілізації основ, оцінювання довготривалих впливів навантажень на багатоповерхові будівлі.

З аналізу витікають мета, задачі, об'єкт, предмет, методи досліджень. Принципових зауважень з аналізу немає.

У **другому розділі** подано методика моделювання багатоповерхових будівель на ґрунтовій основі з урахуванням змінної стиснутої товщі. При цьому основний акцент поставлено на аналітичному описі процесів компресійного ущільнення ґрунтової основи, оцінюванні НДС системи «основа – фундамент – будівля» та розробці алгоритмів, що враховують зміну фізико-механічних властивостей ґрунтів у широкому діапазоні тисків. Зокрема, запропоновано математичну модель, яка враховує зміну коефіцієнта пористості ґрунту і відповідно його модуля деформації залежно від тиску за результатами стандартних лабораторних випробуваннях в одометрах. Для подовження компресійної кривої в область високих тисків використано напівлогарифмічний закон ущільнення К. Терцагі. Реалізацію запропонованої методики виконано у програмному комплексі Simulia Abaqus із використанням підпрограми UMAT.

На прикладі 25-поверхового житлового будинку з пальовим фундаментом виконано порівняльний аналіз результатів моделювання із використанням пружної моделі зі зміною об'єму ґрунту. Врахування змінної висоти розрахункової області дозволяє визначити оптимальні параметри моделі для мінімізації впливу граничних умов. Виявлено, що залежність модуля деформації від тиску сприяє більш рівномірному розподілу зусиль у ростверку та палях, знижуючи пікові значення моментів і площу критичних зон до 30%.

У **третьому розділі** досліджено взаємодію багатоповерхових будівель із ґрунтовими основами при динамічних впливах (сейсмічних і вибухових). Проведено чисельне моделювання динамічної поведінки системи «основа – фундамент – будівля» із використанням спектральних методів, прямих динамічних підходів та методів інтегрування в часі, що враховують нелінійні властивості матеріалів. Зокрема, використано пряме інтегрування за явними та неявними схемами для моделювання короткочасних процесів із високими швидкостями деформацій (вибухові впливи) та метод прямого динамічного розрахунку з урахуванням форм власних коливань для моделювання сейсмічних впливів. Обґрунтовано вплив нерівномірності жорсткості та маси конструкцій на динамічну поведінку багатосекційних багатоповерхових будівель при сейсмічних впливах, зокрема можливе закручування

конструкцій, локальне зростання напружень і відповідно їх пошкодження у критичних зонах. При використанні моделей Concrete Damaged Plasticity та Johnson-Cook встановлено, що вибухові хвилі створюють локальні напруження у конструкціях, які можуть перевищувати міцність бетону та сталі. На базі отриманих в роботі дослідних і теоретичних результатів обґрунтовано для 25-поверхового житлового будинку з пальовим фундаментом у м. Києві оптимальну ширину деформаційних швів.

У **четвертому розділі** досліджено динамічну поведінку багатосекційного багатоповерхового будинку з основою при сейсмічних впливах та розроблено методику зниження динамічного відгуку конструкцій. При цьому враховано просторову жорсткість будівлі та взаємодію її секцій. Для моделі 21-поверхового багатосекційного будинку застосовано метод нормальних координат із використанням багатокомпонентних акселерограм. Результати моделювання показують, що взаємодія сусідніх секцій будівлі через ґрунтову основу суттєво впливає на зміну форм коливань і НДС конструкцій. Зокрема, під час сейсмічних впливів у плитному ростверку та палях виникають значні внутрішні зусилля (екстремальні напруження). Для зниження динамічного відгуку конструкцій доцільно вводити додаткові ригельні системи, які призводять до підвищення до 16% першої власної частоти коливань конструкції та відповідно до зменшення їх згинально-крутильних коливань і більш рівномірному розподілу напружень у пілонах.

Загальні висновки до дисертації відповідають пунктам наукової новизни.

Робота має безперечну технічну новизну.

Автор продемонстрував високий рівень володіння математичним апаратом МСЕ для задач механіки ґрунтів і будівельної механіки, в т.ч. при сейсмічних і вибухових впливах, знання моделей ґрунту та будівельних конструкцій, здатність самостійно планувати, проводити чисельний експеримент й обробляти його результати, аналізувати та представляти їх тощо.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях

Основні результати, наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно відображено у 10 працях: 1 стаття у науковому виданні,

включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «А», яке цитується у реферативній базі «Web of Science»; 1 стаття у зарубіжному фаховому виданні, яке проіндексовано у базі «Web of Science»; 5 статей, опублікованих у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «Б»; 1 у спільній монографії під редакцією проф. Zygmunt Meyer; 2 статті у зарубіжних фахових виданнях; 4 тези конференцій. Праці Литвина О.В. відповідають п. 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167. Наведені в дисертації розробки пройшли апробацію на конференціях різного рівня, що свідчить про достатній рівень поінформованості українських й закордонних науковців щодо виконаних Литвином О.В. розробок.

Методичний рівень проведених досліджень

Достатній ступінь достовірності та обґрунтованості наукових висновків та рекомендацій, що отримані автором, підтверджується застосуванням комплексу взаємодоповнюючих сучасних методів досліджень.

Редакційний аналіз

Дисертаційна робота написана грамотною технічною мовою і відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року зі змінами від 31.05.2019 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44).

У дисертації відсутні ознаки порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів має посилання на відповідне джерело.

Дискусійні положення, зауваження та запитання до дисертації

1. У тексті дисертації є орфографічні й пунктуаційні помилки, різні недопрацювання тощо. Зокрема, 1) в розділі 1 відсутній пункт 1.3; 2) є рисунки з англійськими підписами без їх роз'яснення (рис. 1.3.1); 3) деякі джерела мають помилки в прізвищах та ініціалах (наприклад [10]); 4) об'єкт досліджень

сформульовано некоректно, оскільки це має бути явище (процес), який передбачається досліджувати; 5) рис. 3.1.3 і рис. 3.16 однакові, рис. 3.10 і рис. 3.14 однакові, рис. 3.11 і рис. 3.15 також; 6) формули (3.86) і (3.87) аналогічні (3.64) і (3.65), опис до формул також (с. 127 і с. 138...139), формула (3.88) аналогічна формулі (1.1), формули (4.1) і (4.8) дублюються.

2. У роботі є проблеми з термінологією. Зокрема, зустрічаються терміни «висотні будівлі» та «багатоповерхові будівлі», хоча це з точки зору класифікації згідно з будівельними нормами (ДБН В.2.2-41:2019 «Висотні будівлі. Основні положення») різні поняття. Також поняття системи «основа – фундамент – будівля» в тексті зустрічається поперемінно з «Основа – Фундамент – Споруда» (бажано було б використати щось одне або обґрунтувати різницю, по суті роботи мова йде саме про будівлі). Терміни «лісорбована вода» і «адсорбована вода» описують одну й ту ж категорію води, зв'язаної з мінеральними поверхнями за допомогою адсорбційних сил, тому їх вживання у словосполучення «адсорбована і лісорбована вода» є тавтологією. Для ґрунту застосовують параметр «модуль деформації», а для залізобетонних конструкцій слід використовувати «модуль пружності» (табл. 2.1, табл. 3.1). Зустрічається також словосполучення «підвищення надійності та безпеки об'єктів», але згідно з прийнятою термінологією (ДБН В.1.2-6:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість») поняття «надійність» охоплює безпеку, експлуатаційну придатність та довговічність конструкції чи споруди.

3. Є зауваження до ключових слів до дисертації: 1) є «висотні будівлі» та «багатоповерхові будівлі», слід було об'єднати в «багатоповерхові будівлі», що відповідає суті роботи; 2) є «модельювання» і «числове модельювання», слід було об'єднати в «чисельне модельювання»; 3) є «ґрунт» і «ґрунтова основа», є сенс залишити лише «ґрунтова основа», яке далі і використовується; 4) є «компресія ґрунту» та «ущільнення ґрунту», слід було об'єднати в «компресійне ущільнення ґрунту»; 5) є «сейсміка» і «сейсмічні навантаження», що в контексті роботи можна було б об'єднати в «сейсмічні впливи»; 6) «явні методи», «бетон», «інженерні конструкції» не зовсім є ключовими словами даної роботи. Тоді б кількість ключових слів відповідала

вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та суті роботи.

4. Є зауваження до використаних джерел: 1) більше половини видано понад 10 років тому (35% - старше 30 років; по 12% - старше 20 років і старше 10 років); 2) є посилання на радянські російськомовні джерела (12%); 3) є посилання на будівельні норми, але важливих для роботи норм не розглянуто, на мою думку, краще було б їх аналіз систематизувати в табличну форму в тексті роботи; 4) відсутні посилання на 54 і 55 джерела; 5) відсутній аналіз норм та досвіду ЄС, США, Японії та ін. країн світу, для яких характерні сейсмічні впливи і динамічні навантаження; 6) вперше посилання на літературу зустрічається у п. 1.2, у п. 1.1 перелічено багато вчених і не дано жодного посилання на літературу; 7) в розділах 3 і 4 відсутні посилання на джерела звідки взято математичний апарат для розрахункових моделей, в т.ч. рисунки із моделями (рис. 3.1, рис. 3.6, рис. 3.7 та інші).

5. У роботі не розкрито особливості «висотних будівель», зокрема незрозуміло границі використання результатів досліджень, тобто якої поверховості мають бути будівлі щоб доцільно було застосовувати запропоновані автором методики та рекомендації щодо підвищення їх надійності при сейсмічних і вибухових впливах. Крім того п. 2.2, п. 4.1 та апробація роботи проводилася на не висотному, а на багатоповерхових будинках (їх умовна висота менше 73,5 м).

6. У п. 1.2 не розкрито питання динамічних впливів на взаємодію висотних будівель з ґрунтовою основою. Зокрема, не наведено взагалі які параметри відповідають за динамічні властивості ґрунтової основи. В цілому в розділі 1 бажано б було приділити увагу аналізу існуючим методикам визначення динамічних параметрів ґрунтової основи, несучої здатності основи, осідання основи, допустимих тисків, допустимих осідань для висотних будівель, динамічної і сейсмічної стійкості ґрунтової основи. Також є сенс більш чітко розписати які саме параметри динамічних навантажень розглядаються (наприклад, для сейсмічних впливів характерні високоамплітудні і низькочастотні впливи).

7. У розділі 2 незрозуміло які ґрунти досліджувалися в лабораторних умовах. В тестовій задачі для скінченно-елементного аналізу використано піщаний ґрунт із модулем деформації 60 МПа (табл. 2.1), мабуть такі великі значення отримано при використанні запропонованої автором методики в діапазоні великих тисків при компресійних випробуваннях, але із тексту роботи це важко зрозуміти. Чим обґрунтовується припущення про компресійне стиснення ґрунтової основи в діапазонах тисків понад 0,3 МПа? Як обмежуються граничні напруження в запропонованій моделі? Варто було б порівняти результати чисельного експерименту із загальновідомими моделями, які враховують змінний модуль деформації ґрунтів, залежно від прикладених тисків, зокрема Hardening Soil Model. Ця модель також враховує підвищені значення модуля деформації при незначних тисках, змінний його характер при наростаючих тисках та наближення його значення до певної незмінної величини при зростанні навантажень. При цьому максимальне значення модуля деформації обмежується при досягненні критичного значення девіаторними напруженнями. Однак у запропонованій автором методиці наростання максимального значення модуля деформації відбувається аж до максимального ущільнення при тисках до 2 МПа, що може бути досягнуто при компресійному стисненні, однак наскільки такі припущення правомірні?

8. У розділах 3 і 4 слабо описано конструктивну модель будівлі, на прикладі якої робилися висновки. Зокрема, незрозуміло в яких секціях і де саме розміщено ядра жорсткості, які в даному випадку виконують ключову роль при розрахунках на коливання. Однак при цьому майже в кожному пункті є повторювання, що «Об'єкт дослідження представляє собою реальну 21-поверхову будівлю, запроектовану в м. Київ». Слід було структурувати матеріал для його розуміння. Крім того, висновок про доцільність введення додаткових ригелів є дискусійний, оскільки часто для вирішення цих проблем на практиці використовують додаткові діафрагми жорсткості чи вертикальні в'язі, а в роботі ці питання взагалі не проаналізовано. Висновок про можливість зменшення довжини паль слабо

обґрунтовано, незрозуміло чіткі критерії впливу на вибір оптимальної їх довжини, кроку, особливо при динамічних впливах.

9. Слабо розкрито вплив вибухової ударної хвилі від дрона-камікадзе на основу фундаментів захисних споруд. Доцільно було порівняти результати розрахунків отриманих за методикою, яка запропонована автором в роботі із аналітичним методом UFC 3-340-02 або Calculation of blast loads for application to structural components. В роботі слабо описано зв'язок між розрахунками сталезалізобетонного перекриття на вибухову ударну хвилю із дослідженнями, наведених в попередніх розділах.

10. Задачами досліджень поставлено оцінити процеси деформації сусідніх секцій будівель у часі при сейсмічних навантаженнях з урахуванням взаємодії конструкцій з ґрунтовою основою. Але в роботі все звелось до визначення ширини деформаційних швів між секціями, крім того виявилось, що найбільший вплив має жорсткість надземної конструкції і незрозуміло як впливає на це ґрунтова основа.

Загальний висновок

Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць дають підстави для висновку про те, що дослідження Литвина О.В. «Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах» є завершеним самостійним науковим дослідженням. Вирішена важлива наукова задача щодо обґрунтування ефективної методики моделювання НДС системи «основа – фундамент – будівля» при динамічних впливах для підвищення рівня їх надійності, яка має наукове значення для розвитку теорії та практики будівництва і цивільної інженерії та геотехніки.

Наведені дискусійні положення, зауваження та запитання не змінюють загального позитивного враження від дисертації і можуть розглядатися як побажання в подальшій науково-дослідній роботі.

У дисертації відсутні порушення академічної доброчесності.

За рівнем наукової новизни отриманих результатів та їх практичного значення дисертація «Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах» є закінченою роботою, містить наукову новизну, має теоретичне та практичне значення, розв'язані в роботі задачі мають істотне значення для будівельної галузі знань і відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) і «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р., а її автор Литвин Олександр Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри буріння та геології

Національного університету «Полтавська

політехніка імені Юрія Кондратюка»



Максим ХАРЧЕНКО

Підпис к.т.н., доцента Харченка Максима

«засвідчую»

Проректор з наукової та міжнародної роботи

Національного університету «Полтавська

політехніка імені Юрія Кондратюка».

доктор технічних наук, професор



Олена СТЕПОВА