

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Литвина Олександра Володимировича** на тему «Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 19 - Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія

Аналіз матеріалів дисертаційної роботи Литвина Олександра Володимировича на тему: «Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах» та ознайомлення з його публікаціями дозволяє дати загальну оцінку виконаного дослідження та зробити наступні висновки щодо актуальності роботи, достовірності отриманих результатів, наукової новизни та практичного значення.

**Актуальність теми дисертації.** Дисертаційна робота Литвина О.В. присвячена дослідженню актуальної науково-прикладної проблеми, а саме, взаємодії висотних будівель із ґрунтовою основою за умов дії статичних і динамічних навантажень. Динамічні впливи, зокрема сейсмічні або вибухові навантаження, можуть суттєво змінювати напружено-деформований стан елементів системи «основа – фундамент – будівля», що необхідно враховувати в проектних рішеннях для забезпечення необхідної міцності та стійкості конструкцій. Розвиток висотного будівництва, особливо у сейсмічно небезпечних регіонах та районах зі складними інженерно-геологічними умовами, вимагає постійної розробки нових та вдосконалення існуючих методів проектування інженерних конструкцій. А зважаючи на сучасні вимоги, врахування у методиці вибухових навантажень тільки підвищує рівень актуальності вибраної тематики.

Тема дисертаційної роботи повністю відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні, а також сучасним тенденціям світової інженерної практики. Дослідження Литвина О.В. має тісний зв'язок із науково-дослідними роботами, що виконувались на кафедрі геотехніки КНУБА за темою

НДДКР №0121U113033 «Вдосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій і основ».

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій** дисертаційної роботи забезпечена застосуванням сучасних методів аналізу, огляду наукових публікацій, числового моделювання, а також валідацією результатів розрахунків через порівняння з експериментальними даними. Основні висновки підтверджуються чисельними розрахунками, виконаними методом скінченних елементів у програмному комплексі Simulia Abaqus, що дає можливість здійснити детальний аналіз напружено-деформованого стану елементів системи «основа – фундамент – будівля».

Дослідження враховує нелінійні властивості ґрунтового середовища, зокрема зміни об'єму ґрунту в широкому діапазоні навантажень, що є характерним для задач висотного будівництва. Висновки щодо динамічної поведінки висотних будівель обґрунтовані за рахунок детального аналізу процесів, отриманих із застосуванням перевірених і добре зарекомендованих моделей для матеріалів, а також алгоритмів моделювання.

**Достовірність основних положень роботи** забезпечена:

- використанням сучасних методів комп'ютерної імітації та застосуванням перевірених методів врахування динамічних впливів для детального аналізу напружено-деформованого стану елементів системи «основа – фундамент – будівля» за умов дії статичних і динамічних навантажень;
- проведенням порівняльного аналізу (валідації) числових результатів із експериментальними даними випробувань, що підтверджує відповідність застосованих при розрахунках моделей реальним закономірностям роботи ґрунтів;
- відповідністю отриманих результатів фундаментальним законам механіки ґрунтів, будівельної механіки та динаміки споруд, що підтверджує їх узгодженість із застосованими підходами;

- апробацією основних результатів досліджень шляхом обговоренням на фахових науково-технічних конференціях, а також висвітлення в матеріалах наукових публікацій у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Дисертаційна робота містить низку науково обґрунтованих результатів, які мають наукову новизну і становлять суттєвий внесок у розвиток методів розрахунку висотних будівель при динамічних впливах, зокрема:

- удосконалено та реалізовано математичну модель для оцінки взаємодії конструкцій із ґрунтовою основою, яка враховує процеси зміни об'єму ґрунту при циклічному навантаженні.
- розроблено методику визначення розподілу жорсткісних параметрів ґрунтової основи для динамічних розрахунків, яка базується на аналізі формування стисливої зони в масиві ґрунту під дією статичних навантажень. Такий підхід дозволяє комплексно врахувати взаємодію висотних будівель із ґрунтовою основою при дії статичних і динамічних (сейсмічних) навантажень.
- запропоновано методику дослідження динамічної взаємодії будівель з ґрунтовою основою на базі прямих динамічних методів розрахунку, яка дозволяє описати реальну поведінку конструкцій в часі при дії сейсмічних та вибухових навантажень з використанням алгоритму CONWEP (Conventional Weapons Effects Program), враховуючи нелінійну поведінку матеріалів.
- запропоновано підхід до зниження сейсмічного впливу на несучі конструкції будівель шляхом введення додаткових ригельних систем. Це змінює просторову жорсткість будівлі, дозволяючи впливати на її власні частоти та форми коливань і зменшувати прояви резонансу. Такий підхід дозволяє підвищити надійність проектних рішень, забезпечити стійкість і безпеку будівель у сейсмічно-небезпечних районах, зберігаючи при цьому

архітектурно-планувальні рішення.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при проектуванні висотних будівель, розглядаючи їх роботу у складі системи «грунтова основа – фундамент – будівля». Реалізація розробленої математичної моделі ґрунтового середовища, яка враховує процеси компресійного стиснення та змінну товщину стисливої зони ґрунтового масиву для висотних будівель, дозволяє отримати раціональне проектне рішення фундаментів. Модель реалізована в програмному комплексі Simulia Abaqus. Слід зауважити, що використана закономірність компресії Терцагі дозволила на базі результатів стандартних лабораторних досліджень врахувати поведінку ґрунту в широкому діапазоні навантажень, що особливо важливо для фундаментів висотних будівель.

Використання розробленої моделі компресії для числового моделювання взаємодії будівель із ґрунтовою основою дозволило обрати оптимальну довжину паль фундаментів, що забезпечило зменшення матеріаломісткості конструкцій та досягнення економічної ефективності, зберігаючи при цьому величину осідання будівлі в межах нормативно допустимих значень.

Застосування запропонованої методики дослідження сейсмічного впливу на будівлі з використанням методу нормальних координат дозволило обрати заходи для зменшення небезпечних крутильних коливань будівлі та забезпечити більш рівномірний розподіл напружень у несучих конструкціях шляхом впровадження додаткових ригельних систем.

Запропонована методика динамічних розрахунків, що базується на застосуванні явних методів прямого інтегрування в часі та алгоритму CONWEP, також дозволяє розробляти ефективні проектні рішення, спрямовані на зменшення наслідків впливу вибухових ударних хвиль на несучі конструкції будівлі. Це забезпечує пошук додаткових можливостей підвищення стійкості об'єктів критичної інфраструктури та житлових будівель до вибухових

навантажень.

Отримані результати пройшли апробацію під час проектування реальних об'єктів, зокрема при будівництві житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення у м. Києві, що підтверджує ефективність та практичне значення результатів досліджень.

**Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях.** Наукові здобутки, отримані в рамках дисертаційного дослідження, висвітлені у 10 наукових публікаціях автора, серед яких: 1 статтю опубліковано у виданні, що входить до переліку наукових фахових видань України категорії «А» та індексується в реферативній базі «Web of Science»; 1 статтю - у міжнародному фаховому виданні, включеному до бази «Web of Science»; 5 статей опубліковано у науковому виданні, що належить до переліку фахових видань України категорії «Б»; написано 1 розділ у колективній монографії під редакцією професора Zygmunt Meyer; 2 статті видано у зарубіжних наукових журналах. Крім того, основні положення дисертації пройшли апробацію на 9 наукових конференціях. Отримані результати дослідження повною мірою представлені у наукових працях здобувача.

**Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення.** Представлена на рецензію дисертаційна робота написана українською мовою та оформлена відповідно до вимог наказу МОН України №40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». Структурна будова дисертаційної роботи включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел та один додаток. Загальний обсяг роботи становить 180 сторінок, з яких основний текст займає 141 сторінку, список використаних джерел має обсяг 16 сторінок, а додаток – 1 сторінку.

**У вступі** обґрунтовано актуальність дослідження взаємодії висотних будівель із ґрунтовою основою під дією статичних і динамічних навантажень, зокрема сейсмічних і вибухових. Сформульованом мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, а також методи, що застосовуються для досягнення

поставлених наукових задач. Наведено наукову новизну, практичну цінність роботи та особистий внесок здобувача.

**Перший розділ «Аналіз сучасного стану проблеми взаємодії висотних будівель з ґрунтовою основою»** присвячений аналізу сучасного стану проблеми оцінки спільної роботи висотних будівель із ґрунтовою основою в умовах дії статичних та динамічних навантажень. Проаналізовано вплив конструктивних і геотехнічних факторів на напружено-деформований стан (НДС) фундаментів та ґрунтового масиву. Проаналізовано методи моделювання та розрахунку ґрунтових основ, зокрема аналітичні, експериментальні та числові підходи. Значна увага приділена методам оцінки величини осідання фундаментів, компресійним властивостям ґрунтів, а також особливостям поведінки конструкцій під дією сейсмічних та вибухових навантажень. Обґрунтовано необхідність розробки нової методики, що враховує зміну властивостей ґрунтів залежно від величини тиску.

**Другий розділ «Розробка методики моделювання висотних будівель на ґрунтовій основі з урахуванням змінної стисненої товщі»** висвітлює розробку математичної моделі, яка враховує компресійне ущільнення ґрунтів основи та зміну їх фізико-механічних характеристик під навантаженням. Представлено алгоритм комп'ютерної імітації процесу ущільнення, реалізований у програмному комплексі Simulia Abaqus із використанням підпрограми UMAT. Виконано верифікацію моделі на основі порівняння числових розрахунків з експериментальними даними випробувань. Детально розглянуто вплив змінної висоти стиснутої зони на НДС системи «основа – фундамент – споруда», що дозволило визначити оптимальні геометричні параметри розрахункової моделі. Проведено аналіз розподілу напружень та деформацій у фундаментних конструкціях із різними типами роботи паль у фундаменті, що дозволило знайти шляхи оптимізації конструктивних рішень палевих фундаментів.

**Третій розділі «Моделювання висотних будівель при динамічних**

**впливах»** висвітлює результати досліджень поведінки висотних будівель під дією динамічних навантажень. Розглянуто сучасні методи розрахунку: спектральні, прямі динамічні методи та методи інтегрування в часі, які враховують нелінійні властивості матеріалів. Аналіз з використанням прямого динамічного методу з урахуванням різних форм власних коливань показує, що нерівномірність жорсткості призводить до закручування конструкцій, спричиняє збільшення напружень і підвищення ризику пошкоджень у критичних зонах.

Виконано числове моделювання реакції системи на короткочасні імпульсні впливи з використанням методів прямого інтегрування. Для оцінки вибухових навантажень застосовано алгоритм CONWEP, що дозволило розрахувати розподіл ударних хвиль та визначити максимальні навантаження на несучі конструкції. Розглянуто варіанти зміни конструктивних параметрів для підвищення сейсмостійкості споруд, зокрема за рахунок оптимізації жорсткості каркасу та використання додаткових демпфувальних елементів. Проведено аналіз впливу нерівномірного розподілу мас і жорсткості будівлі на її динамічні характеристики. За допомогою числового моделювання підтверджено, що динамічні розрахунки із врахуванням різних декрементів коливань ґрунтів і конструкцій сприяють зниженню амплітуд коливань. Показано що недостатня ширина деформаційних швів може призводити до ударних навантажень і додаткових пошкоджень. Розроблено рекомендації для підвищення стійкості будівель, запропоновано оптимізацію конструктивних рішень і ширини деформаційних швів.

**Четвертий розділі «Динамічна взаємодія секційного висотного будинку з основою та зниження динамічного відгуку конструкцій»** присвячено розробці та обґрунтуванню методики зниження динамічного відгуку будівель шляхом оптимізації конструктивних рішень. Виконано моделювання взаємодії багатосекційного висотного будинку з ґрунтовою основою в умовах дії сейсмічних хвиль із використанням методу нормальних

координат та багатокomпонентних акселерограм. Виявлено, що взаємодія секцій через ґрунтову основу спричиняє зміну форм власних коливань та перерозподіл напружень між несучими конструкціями. Запропоновано використання додаткових ригельних систем для зменшення згинально-крутильних коливань та більш рівномірний розподіл напружень у пілонах. Проведено порівняльний аналіз різних варіантів конструктивної схеми, що дозволило обґрунтувати ефективні підходи до підвищення стійкості будівель у сейсмічно небезпечних районах.

Результати досліджень проведених Литвином О.В. в межах його дисертаційної роботи на тему: «Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах» впроваджені на реальному об'єкті будівництва житлового будинку в м. Києві по вул. Академіка Заболотного, застосовані підходи під час проектування фундаментних конструкцій дозволили обрати раціональні розміри паль, що забезпечило суттєве зниження собівартості проектного рішення із збереженням його надійності.

**У загальних висновках** узагальнено основні результати роботи, показано теоретичне та практичне значення виконаних наукових досліджень.

**Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі.** У процесі аналізу змісту і структури дисертаційної роботи виникли зауваження наступного характеру:

1. Представлена математична модель передусім враховує незворотні деформації об'єму згідно закону компресії. Це обмежує використання моделі, наприклад для структурно-нестійких ґрунтів, або для глинистих ґрунтів, де важливу роль відіграють деформації зсуву.

2. Дослідження взаємодії висотної будівлі з ґрунтовою основою на дію статичних навантажень було реалізовано з урахуванням нелінійних закономірностей поведінки ґрунтів. Однак при аналізі динамічних вибухових навантажень нелінійні властивості враховувалися лише для інженерних конструкцій. Чи це є обмеженням методики?



3. Здійснені у роботі дослідження орієнтовані на дію короточасних динамічних впливів. Чи запропоновані підходи можуть дозволити врахувати тривалі динамічні процеси деформації ґрунтової основи, наприклад явище повзучості?

4. Запропоновані в роботі методики мають значний потенціал для інженерної практики. Розширення переліку реальних об'єктів, на яких проводилася апробація, могло б сприяти підвищенню зацікавленості до запропонованих рішень та більш широкому їх впровадженню у проектування висотних будівель.

Зазначені зауваження не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи, а, навпаки, відкривають перспективи для подальших досліджень у цьому напрямі. Запропоновані моделі та методики є обґрунтованими, містять наукову новизну та можуть бути впроваджені у практику проектування будівельних конструкцій.

**Оцінка відповідності освітньо-науковій програмі підготовки.** Дисертаційна робота Литвина О.В. повною мірою відповідає вимогам освітньо-наукової програми КНУБА для підготовки здобувачів наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». У дослідженні використано комплексний науковий підхід, що охоплює аспекти механіки ґрунтів, будівельної механіки, динаміки споруд та методів комп'ютерного моделювання. Така міждисциплінарність забезпечує відповідність роботи сучасним вимогам та тенденціям наукової підготовки фахівців у сфері будівництва та геотехніки.

Робота містить усі необхідні компоненти, передбачені вимогами до наукових досліджень на рівні доктора філософії, включаючи проведення теоретичних і прикладних досліджень, розробку та обґрунтування нових методик, а також їх перевірку на практичних інженерних об'єктах. Результати, отримані у процесі виконання дисертації, мають як наукову, так і практичну цінність, що підтверджує відповідність роботи стандартам у сфері будівельної

інженерії.

Таким чином, дисертаційне дослідження Литвина О.В. повністю відповідає критеріям освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії, а його автор демонструє високий рівень компетентності та сформованість професійних навичок, необхідних для наукової та практичної діяльності за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

**Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії».** Дисертаційна робота Литвина Олександра Володимировича «Взаємодія висотних будівель із ґрунтовою основою при динамічних впливах» повністю відповідає вимогам, встановленим чинним законодавством України, зокрема пп. 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. У роботі дотримано основні вимоги щодо наукової новизни, обґрунтованості висновків, застосування сучасних методів дослідження та апробації отриманих результатів.

**Дотримання принципів академічної доброчесності.** Дисертаційна робота Литвина О.В. є самостійним науковим дослідженням, що виконане на високому науковому рівні та відповідає принципам академічної доброчесності. Робота не містить випадків фальсифікації, фабрикації даних, плагіату або несанкціонованого запозичення. Використані матеріали та наукові положення інших авторів мають відповідні посилання на джерела, що підтверджує коректність академічного цитування.

**Загальний висновок про дисертаційну роботу.** Дисертаційна робота Литвина Олександра Володимировича на тему «Взаємодія висотних будівель із ґрунтовою основою при динамічних впливах» є самостійним, завершеним науковим дослідженням, присвяченим розв'язанню важливих проблем будівельної механіки та геотехніки. Робота містить нові наукові положення, має вагомим теоретичне та практичне значення і є вагомим внеском у розвиток будівельної науки.

Основні результати дослідження пройшли апробацію на конференціях, висвітлені у наукових публікаціях. Наявність окремих дискусійних моментів, які можуть бути предметом подальших досліджень, не знижує загального рівня роботи.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Литвина О.В. на тему «Взаємодія висотних будівель із ґрунтовою основою при динамічних впливах» відповідає всім вимогам, що висуваються до наукових робіт на здобуття ступеня доктора філософії згідно пп. 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Литвин Олександр Володимирович, заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

**Рецензент:**

доцент кафедри геотехніки  
Київського національного університету  
будівництва і архітектури,  
кандидат технічних наук, доцент

Вероніка ЖУК

*«Підпис В.В. Жук засвідчую»*

Вчений секретар Вченої ради КНУБА  
к.т.н., доцент



Микола КЛИМЕНКО