

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Маламана Артура Руслановича**
на тему «Взаємодія підпірних стін з ґрунтовим середовищем
при урахуванні їх просторової жорсткості»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Аналіз матеріалів дисертаційної роботи Маламана Артура Руслановича на тему «Взаємодія підпірних стін з ґрунтовим середовищем при урахуванні їх просторової жорсткості» 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 дисертаційного дослідження Маламана Артура Руслановича зумовлена дефіцитом вільних площ в сучасних умовах будівництва у великих мегаполісах, що зумовлює необхідність активного освоєння підземного простору під будівництво багатоярусних паркінгів, транспортних розв'язок, укриттів та інших заглиблених об'єктів. Влаштування глибоких котлованів безпосередньо в умовах щільної міської забудови та складних інженерно-геологічних умов є надзвичайно складною геотехнічною задачею. Неминуче виникає загроза зміни напружено-деформованого стану (НДС) навколишнього ґрунтового масиву, що може призвести до аварійних деформацій сусідніх будівель та підземних комунікацій.

Традиційні аналітичні методи розрахунку та плоскі (2D) числові моделі мають суттєві обмеження, оскільки вони не дозволяють адекватно врахувати просторову жорсткість утримуючих конструкцій, форму котловану в плані та кутові просторові ефекти взаємодії елементів системи. Це призводить або до невиправданих перевитрат матеріалів, або до недооцінки небезпечних переміщень ґрунту. У зв'язку з цим, наукові дослідження Маламана А.Р., спрямовані на розкриття механізмів просторової взаємодії системи «ґрунтовий масив – підпірні стіни – існуючі будівлі» та розробку надійної методики їх числового моделювання, є надзвичайно актуальними, своєчасними та мають вагоме практичне значення для будівельної галузі України.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи забезпечена застосуванням комплексного підходу та сучасних методів досліджень. Робота базується на застосуванні методу скінчених елементів (МСЕ) у плоскій та просторовій постановках, що дозволяє детально аналізувати напружено-деформований стан системи «ґрунтовий масив – підпірні стіни – існуючі будівлі». Для моделювання нелінійної поведінки ґрунтового середовища використано вдосконалені моделі, зокрема Hardening Soil Model (HSM) та її модифікацію для малих деформацій HSS, які враховують зміну жорсткості ґрунту при розвантаженні та повторному навантаженні.

Достовірність основних положень роботи забезпечена верифікацією на тестових задачах та підтвердженням натурними спостереженнями. Автор провів порівняльні дослідження плоских та просторових розрахункових схем, що дозволило виявити систематичне завищення переміщень та внутрішніх зусиль

при використанні традиційних плоских моделей. Обґрунтованість висновків забезпечена порівнянням результатів числового моделювання з даними геодезичного та інклінометричного моніторингу на реальних об'єктах. Застосування зворотного аналізу для ідентифікації параметрів ґрунту дозволило досягти високої збіжності розрахункових даних із фактичними деформаціями.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- встановлено закономірності впливу просторової жорсткості гнучких підпірних стін на формування напружено-деформованого стану системи «ґрунтовий масив - підпірні стіни - існуючі будівлі», що дозволяють отримати достовірнішу й наближену до даних натурних спостережень картину роботи конструкцій: доведено, що перехід від плоскої до просторової постановки задачі усуває систематичне розрахункове завищення горизонтальних переміщень огороження до 2 разів та внутрішніх зусиль у палях до 30%, забезпечуючи високу адекватність числового прогнозу;

- доведено, що перехід від плоских моделей до просторових при оцінюванні впливу глибоких котлованів в умовах щільної міської забудови усуває систематичну похибку розрахунку, яка за плоского моделювання виражається в нереалістичному завищенні додаткових осідань сусідньої забудови до 1,5 разів;

- запропоновано науково обґрунтований підхід до регулювання напружено-деформованого стану підпірних стін огороження котлованів шляхом цілеспрямованої зміни їх просторової жорсткості. Це досягається впровадженням додаткових конструктивних елементів (розпірних систем, контрфорсів), а також варіюванням кроку й кількості паль або оптимізацією геометричної конфігурації утримуючої конструкції;

- встановлено закономірність впливу геометричного параметра співвідношення сторін котловану B_k/L_k на напружено-деформований стан підпірних стін. З'ясовано, що за співвідношення сторін, близького до 1:1, зростання переміщень і внутрішніх зусиль у напрямку від кутових ділянок до центральної частини котловану описується у показниковій залежності; при збільшенні пропорцій до 1:2 і більше в центральній зоні прольоту довгої сторони формується стабілізована ділянка з практично незмінними значеннями згинальних моментів та горизонтальних переміщень.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дисертації є готовим інструментарієм для інженерів-проектувальників, що дозволяє забезпечити геотехнічну безпеку оточуючих будівель при влаштуванні глибоких котлованів і водночас досягти значного економічного ефекту за рахунок оптимізації конструкцій підпірних стін.

Практична цінність дисертаційного дослідження полягає у розробці та впровадженні конкретних інструментів для підвищення надійності та економічної ефективності проектування глибоких котлованів. До основних результатів практичного спрямування належать:

- розробка комплексного алгоритму оцінки НДС: Автором запропоновано покрокову методику аналізу системи «ґрунтовий масив – підпірні стіни – існуючі будівлі», яка охоплює повний цикл від збору вихідних даних до експлуатації об'єкта. Цей алгоритм дозволяє враховувати просторову жорсткість конструкцій

та варіабельність геометрії котловану, що є критичним для безпечного будівництва.

- оптимізація проектних рішень та економія матеріалів: Доведено, що перехід від традиційних плоских (2D) розрахункових схем до просторового (3D) моделювання дозволяє уникнути систематичного завищення розрахункових переміщень (до 2 разів) та згинальних моментів у палях (до 30%). Це дає можливість проектувати більш раціональні конструкції, зменшуючи перевитрати бетону та арматури із збереженням надійності проектного рішення

- методика ідентифікації параметрів ґрунту: Надано рекомендації щодо уточнення характеристик ґрунтового середовища (зокрема для Hardening Soil Model) на основі зворотного аналізу даних моніторингу та спеціальних лабораторних випробувань. Це дозволяє у 2–3,5 рази підвищити точність прогнозів деформацій системи порівняно з використанням стандартних звітів геологічних вишукувань.

- впровадження у реальне проектування: Результати роботи пройшли успішну апробацію та були застосовані при розробці проектних рішень для трьох реальних об'єктів будівництва у м. Києві (у Печерському, Шевченківському та Голосіївському районах) в умовах щільної міської забудови та складних ґрунтових умов.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях. Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувача, 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»; 9 статей опубліковано у наукових виданнях, що належать до переліку фахових видань України категорії «Б». Результати дисертаційного дослідження апробовані на 8 наукових конференціях (6 міжнародних, у тому числі 29th European Young Geotechnical Engineers Conference EYGEC 2025, Рієка, Хорватія, та 2 всеукраїнських). Таким чином, основні результати, отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення. Представлена на рецензування дисертаційна робота викладена державною мовою та за структурою й оформленням повною мірою відповідає вимогам Наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». Структурно робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел (додатки не передбачені). Повний обсяг дисертації становить 165 сторінок, з яких 138 сторінок припадає на основний текст; бібліографія охоплює 117 найменувань на 14 сторінках.

У вступі висвітлено актуальність теми дослідження, сформульовано мету та підпорядковані їй завдання, визначено об'єкт і предмет дослідження, а також наведено відомості про апробацію результатів та їх висвітлення у наукових публікаціях.

У першому розділі «Аналіз конструктивних рішень та методів розрахунку підпірних стін» проведено систематизацію конструктивних типів підпірних стін (масивних, тонкостінних кутикових та гнучких) і сучасних підходів до визначення тиску ґрунтового масиву на утримуючі споруди, а також

критично розглянуто принципи їх розрахунку графічними, аналітичними й числовими методами. Значну увагу приділено порівняльному аналізу визначальних моделей ґрунтового середовища - ідеально пружно-пластичної моделі Кулона–Мора, моделі зміцнюваного ґрунту Hardening Soil Model (HSM) та її модифікації для малих деформацій (HSS) - із деталізацією їх переваг, обмежень і сфери застосування в задачах сумісної деформації утримуючих конструкцій та ґрунтової основи.

У другому розділі «Дослідження впливу виду напружено-деформованого стану на розподіл зусиль і переміщень в підпірній стіні та деформації оточуючої забудови» на основі числового розв'язання двох тестових задач виконано порівняльний аналіз плоского та просторового напружено-деформованого стану. Досліджено їх вплив на характер розподілу переміщень і внутрішніх зусиль у гнучкій підпірній стіні, а також на додаткові осідання прилеглої існуючої забудови. Встановлено, що застосування плоскої скінчено-елементної моделі призводить до систематичного завищення розрахункових горизонтальних переміщень (на 38–205%) і згинальних моментів (на 25–72%) порівняно з просторовою постановкою, залежно від конфігурації котловану та віддаленості перерізу від його кутових зон. Доведено, що оцінка додаткових осідань сусідніх будівель за плоскою схемою є суттєво консервативною і перевищує показники 3D-моделювання на 197–295%.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження зміни напружено-деформованого стану елементів системи «ґрунтовий масив – підпірні стіни – існуючі будівлі» на основі даних геодезичного й інклінометричного моніторингу реального об'єкта будівництва в Печерському районі м. Києва проведено ідентифікацію фізико-механічних характеристик ґрунтового масиву та виконано зворотний аналіз його напружено-деформованого стану. Доведено, що пряме використання параметрів ґрунтів із матеріалів стандартних інженерно-геологічних вишукувань без додаткової ідентифікації призводить до похибки у визначенні переміщень конструкцій у 2–3,5 разів. Порівняльним аналізом підтверджено, що плоскі розрахункові схеми систематично завищують показники відносно просторової моделі та натурних вимірювань: додаткові осідання існуючих будівель - на 67...100% (у середньому на 84%), горизонтальні переміщення верху стін - на 45...412% (у середньому на 185%), а згинальні моменти в палях - на 14...33% (у середньому на 25%). Практичним результатом розділу є розроблений авторський алгоритм і рекомендації щодо оцінки напружено-деформованого стану досліджуваної системи, що включає шість послідовних етапів - від збору вихідних даних до калібрування параметрів моделей ґрунту.

У четвертому розділі «Впровадження запропонованої методики в практику будівництва» висвітлено результати апробації розробленого алгоритму на трьох реальних будівельних майданчиках м. Києва зі складними інженерно-геологічними та містобудівними умовами: у Печерському районі на зсувонебезпечному схилі Черепанової гори, Шевченківському районі на просідаючих лесових ґрунтах в умовах щільної забудови та Голосіївському районі на слабких пілувато-глинистих ґрунтах в безпосередній близькості (11,5 м) до тунелів метрополітену. На основі виконаних розрахунків доведено, що використання плоских схем призводить до завищення горизонтальних

переміщень і згинальних моментів на 15–39% залежно від специфіки об'єкта. Підтверджено, що урахування просторової жорсткості підпірних стін при оцінюванні впливу глибоких котлованів дозволяє знизити прогнозовані додаткові осідання існуючих будинків та споруд до 1,5 разів порівняно з традиційним 2D-моделюванням, що забезпечує оптимізацію проектних рішень без втрати їх надійності.

Наукові та практичні результати дисертаційного дослідження здобувача успішно впроваджено при розробці проектних рішень утримуючих конструкцій глибоких котлованів на трьох експериментальних об'єктах у Печерському, Шевченківському та Голосіївському районах м. Києва. Це дозволило обґрунтовано обрати раціональні конструктивні параметри підпірних стін, забезпечивши високу надійність і технологічно-економічну ефективність будівництва в умовах щільної міської забудови.

У загальних висновках узагальнено основні результати проведених досліджень, що мають як теоретичне, так і вагоме практичне значення для галузі будівництва.

Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі. У процесі аналізу змісту й структури дисертації виникли такі зауваження змістовного характеру:

1. Аналізуючи вплив співвідношення сторін котловану B_k/L_k , (підрозділ 2.1) автор вказує на формування чіткої «лінійної ділянки» при співвідношенні 1:2 і більше, де просторовий ефект слабшає. Однак цей висновок сформульовано для фіксованої ширини котловану B_k . Було б цінніше для теорії та практики, якби автор узагальнив цю закономірність у вигляді безрозмірних критеріїв (наприклад, через відношення довжини стіни до глибини котловану L_k/H_k чи радіуса зони впливу), що дозволило б застосовувати цей висновок для котлованів будь-яких розмірів.
2. У підрозділах 2.1 та 2.2 для числового моделювання тестових задач автор розглядає умовно однорідні за глибиною ґрунтові основи: у першій задачі - пісок середньої крупності, у другій - суглинок м'якопластичний. Хоча таке припущення є стандартним для базового порівняння плоского й просторового НДС, у реальній геотехнічній практиці ґрунтові масиви є багат шаровими (що підтверджує і сам автор у розділах 3 та 4). Дисертація виграла б, якби автор оцінив, як наявність шарів із контрастними жорсткісними характеристиками впливає на кутовий ефект та перерозподіл зусиль.
3. Автор наводить важливе практичне порівняння результатів (підрозділ 3.1) геодезичних вимірів (22 мм) та інклінометричних систем (20,4 мм) для верху палі у точці №4. Проте інклінометричний моніторинг дає змогу отримати повну фактичну епюру переміщень палі по всій її довжині. Замість порівняння лише одного значення у верхній точці, було б доцільно виконати зіставлення розрахункової та фактичної епюр переміщень по всій глибині палі, що суттєво підвищило б достовірність верифікації згинальних моментів.
4. При ідентифікації деформаційних характеристик (підрозділ 3.2) лесоподібних супісків ІГЕ-2 та ІГЕ-3 параметр E_{ur} було прийнято на рівні $5E_{oed}$, тоді як зазвичай у геотехнічних рекомендаціях для стандартних умов пропонується базове співвідношення $3E_{oed}$. Оскільки лесові ґрунти характеризуються структурною нестійкістю, високою пористістю та схильністю

до просідання при замочуванні, таке суттєве підвищення модуля пружного розвантаження потребує додаткового теоретичного та лабораторного аргументування саме для специфічних ґрунтових умов лесового плато м. Києва.

5. Автор обґрунтовано доводить перевагу 3D-моделювання, але одночасно вказує на його високу обчислювальну складність та тривалість. Було б доцільно надати конкретні рекомендації щодо впровадження «поправочних коефіцієнтів» до традиційних 2D-розрахунків. Це дозволило б практикуючим інженерам на етапах попереднього проектування оперативно отримувати результати, максимально наближені до просторових моделей, без значних часових витрат, що лише підсилило б і без того високу практичну цінність дисертації.

6. У першому та четвертому пунктах загальних висновків автор зазначає, що врахування просторової жорсткості «проявляється в зменшенні величин переміщень підпірних стін до 2 разів» та «призводить до зменшення прогнозованих значень додаткових осідань... до 1,5 разів». З наукової точки зору тут є певна термінологічна неточність: перехід від плоских (2D) до просторових (3D) розрахунків насправді не зменшує фізичні деформації реальної конструкції в ґрунті, а робить прогноз точнішим. Автору слід було чіткіше розмежувати фізичне зменшення деформацій від уточнення їх розрахункового прогнозу завдяки досконалішому математичному апарату.

Вказані зауваження не знижують позитивної оцінки роботи і можуть розглядатись як рекомендації для подальшої роботи в даному напрямку досліджень. Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Оцінка відповідності освітньо-науковій програмі підготовки. Дисертаційна робота Маламана А.Р. повною мірою відповідає вимогам освітньо-наукової програми Київського національного університету будівництва і архітектури 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 та методів числового комп'ютерного моделювання із застосуванням методу скінчених елементів. Така міждисциплінарність забезпечує відповідність роботи сучасним вимогам та тенденціям наукової підготовки фахівців у сфері геотехніки та підземного будівництва.

Робота містить усі необхідні компоненти, передбачені вимогами до наукових досліджень на рівні доктора філософії, включаючи проведення теоретичних і прикладних досліджень впливу просторової жорсткості підпірних стін на напружено-деформований стан системи, розробку та обґрунтування нового комплексного алгоритму оцінки взаємодії конструкцій із ґрунтом, а також успішну перевірку отриманих результатів на трьох реальних інженерних об'єктах у м. Києві. Результати, отримані у процесі виконання дисертації, мають як наукову, так і вагомую практичну цінність, що підтверджується можливістю оптимізації проектних рішень та забезпеченням безпеки оточуючої забудови.

Таким чином, дисертаційне дослідження повністю відповідає критеріям освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії, а його автор Маламан А.Р. демонструє високий рівень компетентності та сформованість

професійних навичок, необхідних для наукової та практичної діяльності за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Його науковий доробок, представлений у 10 фахових публікаціях та апробований на численних конференціях, свідчить про глибоке володіння предметом дослідження.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії». Дисертація Маламана Артура Руслановича «Взаємодія підпірних стін з ґрунтовим середовищем при урахуванні їх просторової жорсткості» 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 Маламана Артура Руслановича «Взаємодія підпірних стін з ґрунтовим середовищем при урахуванні їх просторової жорсткості» є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та неправомірних запозичень. Використані матеріали та наукові положення інших авторів мають відповідні посилання на джерела, що підтверджує коректність академічного цитування.

Загальний висновок про дисертаційну роботу. Дисертаційна робота Маламана Артура Руслановича на тему «Взаємодія підпірних стін з ґрунтовим середовищем при урахуванні їх просторової жорсткості» є завершеною і самостійно виконаною працею, містить нові науково обґрунтовані практичні результати. 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.

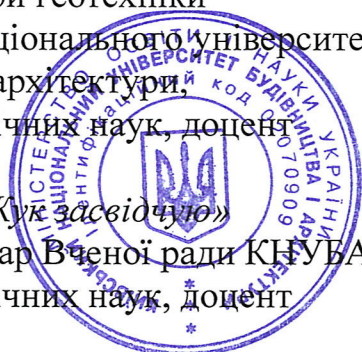
Вважаю, що дисертаційна робота Маламана А.Р. на тему «Взаємодія підпірних стін з ґрунтовим середовищем при урахуванні їх просторової жорсткості», подана на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам пп. 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Маламан Артур Русланович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

Рецензент:

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

«Підпис В.В. Жук засвідчую»

Вчений секретар Вченої ради КНУБА
кандидат технічних наук, доцент



Вероніка ЖУК

Микола КЛИМЕНКО