

ВІДГУК

Харченка Максима Олександровича

офіційного опонента, кандидата технічних наук,

доцента кафедри буріння та геології,

Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

на дисертаційну роботу **Плитуса Ростислава Михайловича**

«Удосконалення методу розрахунку армогрунтових підпірних стін на основі скінченно-елементного моделювання», представлену на здобуття наукового

ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна

інженерія» у галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»

Детальний аналіз дисертації Плитуса Р.М. «Удосконалення методу розрахунку армогрунтових підпірних стін на основі скінченно-елементного моделювання» 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 дослідження та її зв'язок з науковими програмами

Армогрунтові підпірні стінки на сьогодні є одними з найефективніших рішень для утримання насипів та укосів у дорожньому, гідротехнічному, промисловому та цивільному будівництві. Їх застосування особливо доцільне в складних інженерно-геологічних умовах, де традиційні конструкції у вигляді гравітаційних підпірних стін, тонкостінних підпірних стін, гнучких підпірних стін і т.д. є технічно чи економічно неефективними. Водночас, методика розрахунку таких споруд в інженерній практиці, в тому числі в нормативній літературі, залишається недостатньо детальною і не дозволяє отримати очікуваного рівня оптимальності. Існуючі підходи не завжди дозволяють врахувати складну взаємодію армуючих елементів з ґрунтом, поетапність зведення конструкції та довготривалі деформаційні процеси в ґрунтовій основі, що викликано зміною геотехнічних умов.

Актуальність теми дисертації зумовлена необхідністю підвищення точності чисельного прогнозування поведінки армогрунтових підпірних стін, особливо переміщень облицювальних елементів і розвитку деформацій протягом тривалого часу. А отже, особливо важливими в даному випадку є необхідність врахування реальних властивостей ґрунтів як в основі, так і той, що служить засипкою, зокрема, ефектів повзучості, ущільнення та реальної роботи армуючих шарів.

Для вирішення такого роду задач на сьогодні ефективним є застосування сучасних програмних комплексів, які дозволяють провести чисельне моделювання напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтових масивів у контакті із залізобетонними, металевими конструкціями, елементами армування за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) в нелінійній постановці. Зокрема, Plaxis 2D дозволяє враховувати поетапність зведення конструкції і експлуатації споруди та відповідно враховує зміну НДС, граничних умов і реологічних властивостей матеріалів.

Дисертаційне дослідження є важливим також і з практичної точки зору, оскільки базується на аналізі конструкції, яка перебуває в реальній експлуатації. Це дало змогу автору не лише змодельовати поведінку стінки в умовах, максимально наближених до реальності, але й верифікувати результати моделювання на основі натурних спостережень. Такий підхід значно підвищує достовірність висновків і забезпечує обґрунтованість запропонованого підходу до визначення переміщень облицювання армогрунтових підпірних стін, відповідає сучасним інженерним стандартам і забезпечує можливість адаптації методики до реальних проєктів.

Удосконалення методики розрахунку армогрунтових підпірних стін за допомогою чисельного моделювання МСЕ в нелінійній постановці сприяє підвищенню безпеки конструкцій, зниженню ризиків при їх експлуатації та оптимізації інженерних рішень. Отже, тема дослідження відповідає сучасним потребам галузі та має беззаперечну наукову і прикладну цінність.

Основні дослідження виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт, що виконувались кафедрою транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету: «Розроблення сучасних методів будівництва та експлуатації автомобільних доріг, транспортних споруд з оцінкою

їх якісного стану, проведення експертної оцінки основних фондів дорожніх підприємств», № держреєстрації НДР 0122U001566, 2021 р.

Наукова новизна отриманих результатів

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

У роботі обґрунтовано методику підбору параметрів розрахункової моделі для визначення переміщень фасадних блоків облицювання армогрунтової підпірної стіни системи Tensar TW1 методом скінченних елементів в програмному комплексі Plaxis 2D на основі натурних вимірювань їх фактичних переміщень.

Отримано нові експериментальні дані переміщень фасадних блоків облицювання за результатами натурального моніторингу армогрунтової підпірної стіни системи Tensar TW1, яка перебуває в експлуатації упродовж тривалого часу.

Отримано нові аналітичні дані залежності між механічними властивостями георішток, їх розміщенням в підпірній стінці, параметрами підпірної стінки з величинами переміщень облицювальних блоків армогрунтової підпірної стіни системи Tensar TW1.

Отримано нові аналітичні дані очікуваних переміщень облицювання армогрунтової стіни з урахуванням тривалих деформаційних процесів.

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 МСЕ для визначення НДС армогрунтових підпірних стін, ретельним проведенням чисельного експерименту з використанням сучасного програмного забезпечення, перевірки адекватності моделей порівнянням числових результатів із даними натурних досліджень.

Наукові висновки органічно витікають з проведених досліджень та їх порівняння, що підтвердило достатню відповідність дослідних даних їх

розрахунковим величинам. Зокрема, висновки ґрунтуються на чисельному моделюванні взаємодії георешіток з ґрунтом засипки та блоками облицювальної стінки на природній основі. Це дозволило автору науково обґрунтувати рекомендації щодо використання програмного продукту Plaxis 2D для моделювання НДС армоґрунтової підпірної стіни системи Tensar TW1, а також їхньою апробацією на реальних об'єктах.

Практичне значення результатів досліджень полягає в наступному:

Удосконалено методику розрахунку армоґрунтових підпірних стін, що дозволяє більш точно визначати переміщення облицювання у складних інженерно-геологічних умовах шляхом використання сучасних засобів та комплексів на основі скінченно-елементного аналізу.

Розширено практику оцінювання просторової деформативності та довготривалої поведінки армоґрунтових стінок протягом їх життєвого циклу: на етапі проєктування, на етапі зведення та на етапі експлуатації.

Напрацьовано основу для вдосконалення чинних нормативних документів, що враховують можливості чисельного моделювання при проєктуванні армоґрунтових підпірних стін із їх верифікацією при натурних дослідженнях реальної роботи армоґрунтової стінки.

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертація Плитуса Р.М. складається зі вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 98 найменувань, серед яких 27 англійською мовою, а також 1 додатку. Загальний обсяг роботи становить 167 стор., основний текст займає – 141 стор. Текст ілюструється 51 рисунком і містить 24 таблиці.

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

Основні результати роботи знайшли своє відображення у чотирьох наукових публікаціях, що свідчить про належний рівень апробації запропонованих підходів і дає підстави говорити про завершеність наукового пошуку.

У **першому розділі** автором проведено аналіз науково-технічних джерел, присвячених армогрунтовим підпірним стінкам, з акцентом на систему Tensar TW1. Проаналізовано сучасні тенденції у галузі проектування таких конструкцій, розглянуто основні підходи до їх розрахунку, включаючи оцінку стійкості та деформативності. Значну увагу приділено виявленню обмежень чинної нормативної бази, особливо у контексті врахування тривалих деформацій та складної взаємодії між конструктивними елементами конструкції. При цьому доцільно було робити посилання на всі використані джерела, а не лише на їх частину. Також був сенс детально проаналізувати наявну нормативну базу України щодо проектування підпірних стін, зокрема, ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014 «Настанова з проектування підпірних стін».

Другий розділ присвячено чисельному аналізу НДС армогрунтової стінки із застосуванням програмного комплексу Plaxis 2D за допомогою MCE. Побудовано чисельну модель, яка відтворює конструкцію в умовах реального геотехнічного середовища з урахуванням технології зведення етапами та параметрів її складових. При цьому слід було більш детально обґрунтувати вибір моделей ґрунту, типів елементів, призначенню фізико-механічних властивостей для запропонованих моделей, а також граничних умов розрахункової моделі. У зв'язку з тим, що розрахункова модель має на меті відтворити реальну конструкцію, то слід було більш детально описати реальні інженерно-геологічні умови, в яких споруджено дану споруду. Також не вистачило більш опису конструктивної схеми: геометричних параметрів блоків облицювання і їх кріплення між собою, параметрів фундаментної стрічки облицювальної стінки, технології ущільнення зворотної засипки тощо.

У **третьому розділі** наведено результати порівняння чисельного моделювання з фактичними спостереженнями за поведінкою армогрунтової стінки, яка експлуатується протягом двох років. Проаналізовано відповідність між розрахунковими переміщеннями облицювальних блоків і даними натурного

моніторингу. Продemonстровано просторовий характер деформацій, що виникають у конструкції, і зроблено висновки щодо розрахованої моделі. При цьому слід було навести статистичні параметри порівняння отриманих результатів при моніторингу та при моделюванні. Також незрозумілим залишилося питання щодо кількості даних моніторингу, зокрема, чи це вимірювання стінки в одному перерізі, чи виконувалися додаткові вимірювання в інших перерізах і їх порівняння із результатами моделювання.

Четвертий розділ спрямований на прикладне узагальнення отриманих результатів. У ньому сформульовано рекомендації щодо покращення розрахункових підходів до проектування армогрунтових підпірних стін. Зокрема, запропоновано враховувати специфіку послідовного зведення конструкції, ефекти тривалої деформації основи та адаптивність методики до різних типів ґрунтів і конструктивних схем. При цьому слід було більш детально описати як визначати параметри ґрунтів для специфічних моделей, оскільки при стандартних випробуваннях ґрунтів на етапі інженерно-геологічних вишукувань більшість тих параметрів не визначається. Тому запропоновані підходи наразі суттєво ускладнено в практичній реалізації.

Загалом, дисертація є цілісним і послідовним науковим дослідженням, що охоплює як фундаментальні питання теорії, так і прикладні аспекти чисельного моделювання з верифікацією результатів у реальних умовах. Структура роботи логічно вибудована, що сприяє зручному сприйняттю матеріалу і забезпечує цінність для наукової та інженерної практики.

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

За темою дисертаційного дослідження опубліковано 3 наукових праці, у тому числі:

- 1 наукова стаття опублікована у періодичному науковому виданні держави (Чехія), яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та Європейського Союзу відповідно до п. 2.2 Наказу Міністерства освіти і науки

України «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» №1220 від 23 вересня 2019 р.;

- 3 у періодичних фахових виданнях категорії Б, що входять до переліку МОН України (це Вісник Національного транспортного університету та Автомобільні дороги і дорожнє будівництво).

Також опубліковано 7 наукових праць у збірниках за матеріалами конференцій.

В цілому праці Плитуса Р.М. 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 Плитусом Р.М. 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

По тексту роботи зустрічаються дуже великі розриви між текстом і рисунками, текстом і таблицями (наприклад, на ст. 31, 33, 43 і 48, 63, 92, 100), зустрічаються таблиці (на ст. 75) і рисунки (на ст. 83 і 102) на одній сторінці, а їх підпис на іншій. Доречно було перекомпонувати текст, щоб таких розривів не було.

В першому розділі відсутнє посилання на більшість використаних джерел, що суттєво ускладнює аналіз наведених положень і ставить під сумнів той факт, що ці джерела дійсно аналізувалися.

Рис. 1.3, рис. 1.4 і рис. 1.5 не містять підписів осей, що ускладнює їх аналіз і розуміння. Крім того незрозуміло результати яких досліджень наводяться на рис 1.3.

На стор. 46 дисертації є плутанина із нумерацією таблиць. В табл. 1.2 останній стовпчик має невідповідність назви і змісту даних. Таблиці 2.3.7 і 2.4.3 однакові, тому можна було параметри завантаження армогрунтової стінки показати один раз без дублювання однакових таблиць.

Об'єкт і предмет дослідження сформульовано некоректно, оскільки це має бути процес або явище, яке досліджується. Крім того об'єкт дослідження сформульовано дуже конкретно (тут вказано і які саме георешітки використовуються і т.д.), треба було більш узагальнено. Як варіант в даному випадку краще підходить таке формулювання: «Об'єкт дослідження – процес деформування підпірних конструкцій з геосинтетичним армуванням». Тоді предмет дослідження сформулювати таким чином: «Предмет дослідження – застосування методу скінченних елементів для оцінювання та прогнозування процесу деформування підпірних конструкцій з геосинтетичним армуванням».

Наукова новизна роботи також більш сформульована як практичне значення.

Загальні висновки по роботі містять мало конкретних результатів, отриманих автором при дослідженнях. Слід було більш чітко їх сформулювати і наводити конкретні результати.

В цілому, 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. До ключових слів доречно було віднести: армогрунтова підпірна стінка, георешітка, армований ґрунт.

2. По тексту роботи зустрічаються терміни «геограти» і «георешітки». При цьому автор не роз'яснює чи це одне й те саме чи це різні поняття.

3. До переліку літератури доцільно було включити ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014 «Настанова з проектування підпірних стін».

4. При описі конструктивних рішень різних підпірних стінок у розділі 1 доцільно було показати їх розрахункові схеми, щоб було зрозуміло їх висоту, ширину, розміщення елементів армування, навантаження, умови закріплення конструктивних елементів, зокрема, особливості фіксації облицювальних блоків, тощо. Коротко описати технологію спорудження армогрунтової підпірної стінки, земляного полотна тощо. Варто було б розширити обґрунтування вибору саме конструкції типу TW1 серед інших систем Tensar.

В роботі не вистачає опису і ілюстрацій того яким чином забезпечено сумісну роботу георешіток із блоками облицювання. Не обґрунтовано розрахункову схему облицювання (виникає питання чому зверху в плиті облицювання нульові моменти).

Слід більше уваги було приділити тому як отримати проектні параметри ущільнення насипу, оскільки саме ці параметри максимально впливають на сумісну роботу із георешітками і на переміщення облицювальних плит.

5. У розділі 2 доречно було описати вид ґрунтів, які наведено в табл. 2.2. При цьому викликають сумніву наступні властивості:

- для Fill soil досить мале значення коефіцієнта Пуасона 0,15 (як правило, для ґрунтів це значення коливається в межах 0,25...0,35);

- IGE5 та IGE6 мають великі значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення $c=30$ кПа і $\phi_i=29$ град. та $c=45$ кПа і $\phi_i=35$ град. відповідно; це досить великі значення і в природі такі ґрунти не зустрічалися; їх коефіцієнт пористості $e=1$ – це високопористі ґрунти, що характерно для таких ґрунтів як мулові відклади, торфи, пухкі піски, при таких коефіцієнтах пористості мають бути значно менші

модуля деформації, ніж ті, що вказано для цих ґрунтів, а відповідно і характеристики міцності (кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення).

Слід було пояснити чому для відповідних IGE, насипу і щебеню використовується та чи інша модель при моделюванні, в т.ч. пояснити вибір типу матеріалу дренуючий чи недренуючий (табл. 2.1).

6. З роботи незрозуміло чого згинальна і повздовжня жорсткості стінки облицювання задавалися однаковими. Нормальна жорсткість стінки EA – це добуток площі поперечного перерізу 1 м.п. стінки і модуля пружності матеріалу, з якого вона влаштована. Згинальна жорсткість EI залежить від товщини стінки облицювання. Якщо нормальна жорсткість стінки EA і згинальна жорсткість EI однакові, то тоді товщина стінки облицювання має складати 3,64 м, що більш за все не відповідає реальній розрахунковій схемі.

7. На скільки коректно було при моделюванні задавати зовнішнє облицювання із збірних блоків плитним елементом? Можливо був сенс порівняти результати за умови моделювання стінки облицювання масивною суцільною стіною (матеріал змодельовати із використанням моделі Elastic).

8. У моделі споруди використовується тривісноорієнтована жорстка георешітка у стабілізаційному шарі, однак у тексті відсутній опис підбору її параметрів на основі натурних випробувань, зокрема, випробувань на витягування (pull-out tests) та з'єднання з облицюванням (connection tests), передбачених у додатку С EN 14475. Зазначене у роботі значення коефіцієнта витягування (0,85) не супроводжується обґрунтуванням вибору та поясненням прийнятої довжини анкерівки у моделі. Для підвищення обґрунтованості слід було б навести результати або посилання на первинні випробування.

9. Слід було більше уваги приділити обґрунтуванню граничних умов розрахункової моделі задачі, яка вирішувалася у дисертації. Зокрема, не описано товщину облицювання і умови її спирання на ґрунтову основу (із епюри на рис. 2.3.13 можна зробити висновок, що стінка жорстко затиснена в основі). Незрозуміло як визначену ширину і глибину всієї розрахункової області.

10. Слід було чітко сформулювати критерії розрахунку за першим і другим граничними станами, які задовольняють необхідний рівень надійності споруди у

вигляді армогрунтової підпірної стінки. Зокрема, оцінити який нормативний коефіцієнт стійкості має бути, які максимально допустимі осідання основи споруди, які максимально допустимі переміщення облицювання.

11. В розділі 3 порівняння результатів моделювання і моніторингу виконано графічно без статистичної обробки. Тому важко кількісно оцінити на скільки ці методи дають збіжність результатів.

В тексті дисертації відсутні статистичні дані по вимірюванням при моніторингу. Тобто незрозуміло чи це лише в одному місці проведено заміри чи все ж таки є певна кількість подібних вимірювань, щоб стверджувати про гарну збіжність результатів моделювання і моніторингу.

12. В розділі 4 в рекомендаціях варто було надати рекомендації щодо обґрунтування кроку між шарами армування, максимально допустимого переміщення стінки облицювання, максимально допустимих осідань споруди, вибору типу ґрунтів для засипки, щоб ці дані було зручно використовувати на практиці проектування армогрунтових підпірних стінок.

Загальний висновок

Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць дають підстави для висновку про те, що дослідження Плитуса Р.М. «Удосконалення методу розрахунку армогрунтових підпірних стін на основі скінченно-елементного моделювання» є завершеним самостійним науковим дослідженням. Вирішена важлива наукова задача щодо обґрунтування ефективної методики моделювання НДС армогрунтової підпірної стіни системи Tensar TW1 MSE, яка має наукове значення для розвитку теорії та практики проектування армогрунтових споруд, 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 «Удосконалення методу розрахунку армогрунтових підпірних

стін на основі скінченно-елементного моделювання» 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 Плитус Ростислав Михайлович 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 роботи
Національного університету «Полтавська
політехніка імені Юрія Кондратюка»,
доктор технічних наук, професор



Олена СТЕПОВА

Підписи засвідчую

Заст. ректора/начальника відділу кадрів



Заст. ректора