

Відгук офіційного опонента
кандидата технічних наук, доцента **Харченка М.О.**
по дисертації **Савенка Володимира Олеговича**
«Робота конструкцій підпірної стіни зі структурною
поверхнею на основі, що нерівномірно деформується»,
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.23.02 – Основи і фундаменти
(19 – Архітектура та будівництво)

Об'єм дисертації становить 179 стор., в т.ч. 5,375 автор. арк., анотацію на 7 стор. і додатково на 7 стор. анотацію англійською мовою, 43 рисунків, 19 таблиць, список використаних джерел із 135 найменувань (серед яких всього 4 англійською мовою) на 14 стор. і 2 додатки на 6 стор. Автореферат дисертації містить 21 стор.

Актуальність теми. Наразі доводиться будувати в ускладнених інженерно-геологічних умовах, в т.ч. в зсувонебезпечних територіях, при значних перепадах висот тощо, для яких доводиться влаштовувати конструкції для утримання ґрунту. При цьому часто такі території додатково ускладнені за рахунок підземних виїмок (підроблювальні території), просадочними ґрунтами, гідрогеологічною ситуацією та іншими факторами. Проектування в таких умовах вимагає від інженера комплексного підходу для забезпечення надійної експлуатації будівель і споруд та збереження довкілля, при цьому досягати відносно економічних рішень. На підроблюваних територіях і ґрунтах, що просідають, виникають складні деформації основи і тому не завжди можна використовувати апробовані технічні рішення для інших геотехнічних умов.

Тому розроблення наукових положень та практичних рекомендацій щодо розрахунку підпірних стін зі структурною поверхнею (ПССП), які взаємодіють з основою, що нерівномірно деформується, яким присвячена робота **Савенка В.О.**, є актуальною задачею геотехніки.

Все це обґрунтовує актуальність і своєчасність досліджень автора. Вони виконані в складі науково-дослідницьких робіт Криворізького національного університету «Дослідження, розрахунок і проектування будівель і споруд у складних інженерно-геологічних умовах, зокрема з реалізацією числових методів; інженерна підготовка та проектування урбанізованих та порушених територій» (№ ДР 0117U001842, 2017-2019 рр.).

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтування наукових положень дисертації витікає з проведеного аналізу сучасного стану науково-технічної та нормативної літератури, в т.ч. частково й іноземної нормативної бази, чіткого формулювання задач досліджень, постановки лабораторних і чисельних дослідів зі статистичною обробкою їх результатів, використання апробованих апаратів класичної і нелінійної механіки ґрунтів, сучасних методів розв'язання пружно-пластичної задачі методом скінчених елементів (МСЕ) з використанням сучасних програм для оцінювання напружено-деформованого стану (НДС) «ґрунт – підпірна стінка», а також

Bx v37-05/224
17.09.2021

порівняння результатів аналітичних, чисельних і лабораторних досліджень, що дозволило дисертанту:

- розробити нове конструктивне рішення підпірної стіни, яке відповідає умовам роботи на підроблюваних територіях;
- розробити і запатентувати корисні моделі збірних і монолітних підпірних стін блочного і кутикового типів;
- визначити оптимальні параметри конструктивного рішення підпірної стіни зі структурною поверхнею з використанням теорії планування експерименту;
- провести експериментальні дослідження взаємодії підпірної стіни зі структурною поверхнею з деформованою основою;
- виконати математичне моделювання контактної взаємодії підпірної стіни зі структурною поверхнею з основою, що нерівномірно деформується;
- розробити методичні рекомендації з проектування підпірних стін зі структурною поверхнею при нерівномірних деформаціях основи.

Наукові висновки ґрунтуються на проведених лабораторних експериментальних і теоретичних дослідженнях, їх порівняння, що підтвердило достатню відповідність дослідних даних їх розрахунковим величинам. Це дозволило здобувачу вдосконалити розрахунково-теоретичний апарат проектування підпірних стін зі структурною поверхнею на основі, що деформується.

Достовірність і наукове значення проведених досліджень. Достовірність досліджень базується на науково обґрунтованій методиці планування лабораторного й чисельного дослідів, ретельному проведенні експериментів з обробкою даних і їх порівнянням, ретельному проведенні експериментальної частини в лабораторних умовах методом фізичного моделювання з виготовленням макетів реальних підпірних конструкцій 3D друкуванням, використанні відомих раніше рішень класичної та нелінійної механіки ґрунтів, перевірці адекватності експерименту розрахунковим положенням, тощо.

Наукове значення і новизна досліджень полягає у тому, що дисертантом:

- експериментально обґрунтовано залежність збільшення несучої здатності системи «основа – підпірна стінка зі структурною поверхнею» при дії постійного навантаження за рахунок формуванням «арочного» ефекту при контакті структурної поверхні стіни з ґрунтом;
- описано напружено-деформований стан ґрунту при формуванні контактної поверхні підпірних стін зі структурною поверхнею та доведено процес формування «арочного» ефекту в даному контакті;
- розширено класифікацію типів підпірних стін за рахунок нового конструктивного рішення – підпірних стін зі структурною поверхнею;
- дістала подальшого розвитку теорія формування граничного напружено-деформованого стану ґрунту основи та засипки при контактній взаємодії з підпірною стіною зі структурною поверхнею.

Такі дослідження виконані вперше.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблена автором конструкція ПССП суттєво підвищує надійність експлуатації таких конструкцій

в складних геотехнічних умовах. Основні результати досліджень впроваджено у геотехнічну практику організацій ТОВ «Будконструкція» (м. Кривий Ріг) і Криворізька філія ДП «Дніпропетровський державний проектний інститут житлового і цивільного будівництва «Дніпроцивільпроект»; при проектуванні проектуванні підпірних стін на ділянках траси швидкісного трамваю (при цьому отримано економічний ефект 55 тис. грн. на 10 м.п. підпірної стінки), – а також у навчальний процес Криворізького національного університету, що підтверджено відповідними актами і довідками.

Повнота відображень основних положень дисертації у виданих роботах. За темою дисертації опубліковано 15 праць, у т. ч. 7 статей у наукових фахових виданнях України (3 роботи в спеціалізованому виданні з цитуванням у міжнародній наукометричній базі Index Copernicus; 1 стаття з цитуванням у наукометричній базі SCOPUS), 3 тез за матеріалами конференцій та у 3 патентів України на корисну модель. Видані матеріали достатньо повно висвітлюють основні положення роботи.

Ідентичність автореферату основним положенням дисертації. Автореферат складено державною мовою. Його написано на високому науково-методичному рівні. Він містить необхідні ілюстрації, розрахункові схеми та формули для достатнього сприйняття результатів досліджень і повністю віддзеркалює сутність досліджень. Автореферат відповідає змісту дисертації.

Аналіз змісту дисертації. Дисертація містить вступ, 5 розділів і висновки.

Розділ 1 (аналіз сучасного стану питання використання підпірних стін) присвячено аналізу роботи підпірних стін у різних ґрунтових умовах і режимах роботи – силового завантаження й деформаційних впливів основи. Автором, зокрема, виявлено, що для складного навантаження немає розв'язку контактної задачі з урахуванням зниження характеристик міцності і деформаційності основи. Зроблено важливий висновок, що при складних інженерно-геологічних умовах, особливо при нерівномірній деформації основи, існуючі типи підпірних стін не розраховані на додаткові зусилля, що виникають від горизонтальних і вертикальних переміщень ґрунту. З огляду витікають мета, задачі, об'єкт і предмет, а також частково методи досліджень. Відзначу недостатню кількість іноземних праць за темою дисертації, які автор проаналізував, особливо сучасних. Також відсутній аналіз аварійних ситуацій, особливо в зсувонебезпечних районах і на підроблюваних територіях, та узагальнені висновки до пунктів розділу.

Розділ 2 (експериментальні дослідження конструкцій підпірних стін зі структурною поверхнею). Запропоновано нове конструктивне рішення підпірної стіни кутникового типу зі структурною поверхнею, що закріплено двома патентами на корисну модель. У лабораторних умовах у лотку проведено серію випробувань запропонованої конструкції підпірної стінки зі структурною поверхнею та звичайної підпірної стінки. Виконано порівняння осідань та кренів цих підпірних стін та виявлено переваги для запропонованого варіанту підпірної стінки. Визначено, що підпірна стіна зі структурною поверхнею може бути використана для стабілізації нестійких схилів і укосів, а також на підроблюваних територіях із горизонтальним і вертикальним переміщенням ґрунту, зокрема в

умовах глинистих та суглинистих ґрунтів з характеристиками, що лежать у межах: кут внутрішнього тертя $\varphi=20\div 26^\circ$, питомого зчеплення $c=15\div 45$ кПа. Слід відзначити достатній науково-методичний рівень планування і проведення експериментальних досліджень, виконаних дисертантом.

Розділ 3 (розроблення методики розрахунку ПССП на основі, що нерівномірно деформується). За результатами проведення лоткових випробувань розроблено методику розрахунку ПССП на основі, що деформується. При цьому доведено, що саме «арочний» ефект є сумарним і пояснює напружено-деформований стан основи під підпірною стіною зі структурною поверхнею. У формулу визначення граничної несучої здатності основи, при якій устанавлюється й зберігається статична рівновага підпірної стіни, введено емпіричний коефіцієнт, який ураховує об'ємно-напружений деформований стан для глинистих і суглинистих ґрунтів і перебуває в межах 2,15 – 2,5.

Розділ 4 (математичне моделювання контактної взаємодії ПССП з основою, що нерівномірно деформується). Ця частина логічно пов'язана з попередніми. Зокрема, автором проведено моделювання взаємодії попередньо розглянутих підпірних стінок з основою в двох програмних комплексах: «PLAXIS» і «ЛІРА». Створено оригінальні розрахункові схеми МСЕ. Використані методики скінченно-елементного аналізу достатньо апробовані і тому отримані здобувачем результати не викликають сумнівів.

Розділ 5 (рекомендації щодо проектування підпірних стін зі структурною поверхнею). У розділі представлено методичні рекомендації щодо проектування підпірних стін зі структурною поверхнею, які можуть використовуватися в складних інженерно-геологічних умовах, а саме на підроблюваних територіях при різних деформаційних впливах. Ці рекомендації містять загальні положення про проектування ПССП, вимоги до інженерно-геологічних вишукувань, конструктивні рішення ПССП та область їх раціонального застосування, основні положення з розрахунку й проектування ПССП.

Загальні висновки мають логіку й в цілому відповідають пунктам наукової новизни.

Додатково відзначу, що дисертація і автореферат оформлені на достатньому рівні, проілюстровані, складові формул мають відповідні пояснення. Значний дослідний матеріал здобувач представив у вигляді розрахункових схем, графіків, компактних таблиць. Він достатньо чітко формулює висновки в кінці розділів і роботи взагалі, але не вистачає узагальнень в кінці пунктів. Дисертація виконана на високому науково-методичному рівні й носить комплексний характер. Наявні як лабораторний, так і чисельний експерименти, що логічно пов'язані між собою.

Технічна новизна дисертації підтверджена патентами на корисні моделі.

Автор продемонстрував достатній рівень володіння апаратом нелінійних задач механіки ґрунтів, в т.ч. за допомогою скінченно-елементного аналізу, здатність планувати, проводити лабораторні експерименти й обробляти їх результати, аналізувати та представляти їх тощо. Результати досліджень достатньо апробовані на міжнародних і державних конференціях за темою дисертації.

Зауваження та запитання по роботі

1. В розділі 1 недостатньо проаналізовано сучасний, в тому числі іноземний досвід розрахунку і експлуатації підпірних стінок. Досить слабо висвітлено питання нелінійності ґрунту при контактній взаємодії з конструкцією підпірної стінки. Більшість джерел, що використані в огляді, застарілі. Доречно було б по тексту дисертації робити посилання на джерела, з яких бралися розрахункові схеми для розділу 1.

2. У вступі автор наголошує актуальність напрямку досліджень, у т. ч. для складних інженерно-геологічних умов, але майже всі дослідження виконано якраз за відсутності цих умов, зокрема, модуль деформації ґрунтів більший за 5 МПа, параметри міцності ґрунту питома зчеплення більше 10 кПа і кут внутрішнього тертя більше 19 градусів. У лабораторних умовах також не зрозуміло яким чином враховано деформовану основу (наприклад, у разі підроблення території). Тому слід вказати область раціонального застосування авторської методики розрахунку ПССП.

3. При плануванні експерименту на етапі ранжування чинників, які впливають на несучу здатність підпірної стінки зі структурною поверхнею, не зрозуміло, для яких елементів системи «ґрунтова основа – ПССП – ґрунт засипки» прийнято коефіцієнт Пуассону, модуль пружності, вологість, модуль деформації, кут внутрішнього тертя. Оскільки всі ці параметри характерні як для ґрунту засипки, так і для ґрунту основи. Також незрозуміла сама методика проведення такого ранжування, слабо обґрунтовано чому саме відкинуті ті чи інші фактори. До того ж із назви роботи випливає, що один із найважливіших факторів є нерівномірні деформації основи, що при проведенні лабораторних лоткових досліджень не враховано.

4. Отримана модель багатовимірної лінійної регресії фізично була зрозуміла і до проведення лоткових експериментів. Зокрема, відразу було зрозумілим, що при збільшенні контактної площі опорних призматичних ділянок, об'єму порожнин, питомого зчеплення ґрунту і розрахункового опору основи несуча здатність системи ПССП буде збільшуватися. Тому виникає питання – як вплине вид ґрунту (зв'язний, незв'язний) засипки на несучу здатність ПССП? Чи доречно було варіювати такий чинник як розрахунковий опір ґрунту основи при оцінюванні моделі багатовимірної лінійної регресії, оскільки відразу було зрозуміло позитивний вплив даного фактору на несучу здатність ПССП? До яких меж може впливати контактна площа призматичних ділянок на несучу здатність ПССП (які оптимальні параметри структурної поверхні)?

5. По тексту дисертації фігурує термін «напружено-деформований стан конструкції». Поясніть як саме досліджувався напружено-деформований стан конструкції, бо із аналізу роботи можна зробити висновок, що досліджувався лише напружено-деформований стан основи ПССП і ґрунту засипки.

6. Із методики розрахунку ПССП на основі, що деформується, незрозумілим є те, яким же чином визначили емпіричний коефіцієнт $C=2,15 \dots 2,5$, що враховує об'ємно-напружений стан для глинистих і суглинистих ґрунтів.

7. Із методики конструювання ПССП (формули 3.9-3.11) незрозумілим є, яким же чином визначати більшість параметрів. Зокрема, фактичну контактну

площу опорних призматичних ділянок S ; узагальнений коефіцієнт обліку форми об'єму призматичних ділянок і проекції їх площі на огинаючі поверхні опорних елементів l тощо. Доречно було б приділити цьому увагу для кращого розуміння методики розрахунку ПССП і аспектам, які безпосередньо досліджувалися здобувачем. До речі, специфіку визначення цих параметрів не обґрунтовано і у п. 5.3.2, де вже узагальнюється авторська методика розрахунку ПССП. Також потребує додаткового роз'яснення висновок до розділу 3 щодо погодження розробленої методики розрахунку із Єврокодом 7.

8. Як кількісно впливає на деформації і напруження наявність структурної поверхні? Доречно було б у п. 4.2 надати результати моделювання за методикою Strength-Reduction Technique, що реалізована у програмному комплексі Plaxis, і порівняти розраховані коефіцієнти стійкості для звичайної кутикової стінки і ПССП при різних параметрах структурованої поверхні, що і було б підтвердженням збільшення несучої здатності ПССП у порівнянні зі звичайною стінкою.

9. Із розділу 4 незрозуміло чи однакові приймалися вихідні дані при моделюванні в програмному комплексі Plaxis і в програмному комплексі ЛПРА. Відсутній порівняльний аналіз отриманих однотипних результатів чисельного моделювання в різних програмних продуктах і тому є незрозумілим яка ж була основна мета використання різних чисельних апаратів для розв'язання однієї і тієї ж задачі. Також незрозуміло який саме параметр підтверджує збільшення несучої здатності ПССП у порівнянні із звичайною стінкою.

10. У роботі відсутні повноцінні (в таблицях чи графічно) порівняння результатів лоткових досліджень і моделювання МСЕ. В тому числі порівняння аналітичних розрахунків авторською методикою, що наведена в розділі 5, із чисельними МСЕ.

Загальна оцінка роботи

1. Розглянута дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому одержані нові науково обґрунтовані результати. Вирішена конкретна наукова задача – обґрунтовано використання підпірних стін зі структурною поверхнею в складних інженерно-геологічних умовах, що має суттєве народногосподарче значення для підвищення надійності й економічності проектування такого типу конструкцій й наукове значення для розвитку теорії та практики геотехніки.

2. Дисертація написана чітко й в стислій формі висвітлює всі частини виконаного дослідження. Поставлені мета і задачі виконані повністю, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів не викликає сумнівів. Структура, обсяг й оформлення дисертації відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

3. Автореферат і видані здобувачем роботи достатньо висвітлюють основні результати проведених досліджень.

4. Дисертація має конкретне впровадження при розробленні конструктивних рішень підпірних стін спеціального типу для захисту зсувних і підроблювальних територій, що підтверджено відповідними актами.

5. Наведені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертації в цілому. Вона відповідає спеціальності 05.23.02 – Основи і фундаменти.

6. Дисертація відповідає діючим вимогам стосовно кандидатських дисертацій (п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» зі змінами та доповненнями, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567) і вимогам МОН України, а здобувач **Савенко Володимир Олегович** заслуговує присудження йому наукового ступеню кандидата технічних наук.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук, доцент,
виконуючий обов'язки завідувача
кафедри буріння і геології
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»



Максим ХАРЧЕНКО

Проректор з наукової та міжнародної
роботи Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», кандидат технічних
наук, доцент



Світлана СІВІЦЬКА