

ВІДГУК

Офіційного опонента на дисертаційну роботу

Сипливця Олександра Олександровича

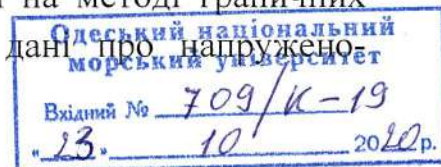
«Математичне моделювання сумісної роботи підпірних споруд та ґрунтового масиву в умовах щільної міської забудови»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – «будівельні конструкції, будівлі та споруд».

Дисертаційна робота О.О. Сипливця присвячена удосконаленню методів розв'язання контактних задач системи, в яку входять підпірна чи протизсувна споруда та оточуюча її ґрунтова основа і побудовані раніше або за проєктовані поруч споруди, а також дослідження напружено-деформованого стану сумісної роботи всіх елементів цієї системи. Базуючись на теорії пластичної течії зі зміцненням, яка дозволяє більш повно врахувати реальні властивості матеріалів конструкцій і ґрунтів, автором розроблена методика розрахунку, завдяки якій можна більш точно визначити напружено-деформований стан досліджуваної системи в процесі її складного навантаження.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Основну частину роботи ілюстровано 88 рисунками. Бібліографічний список складається з 199 найменувань. Повний обсяг дисертації становить 169 с., з них: титульний аркуш – 1 с.; анотація, ключові слова і список публікацій автора – 16 с., із них обсяг анотації державною мовою становить – 0,27 авт. арк., англійською – 0,27 авт. арк.; основна частина (вступ, розділи дисертації, висновки) має обсяг – 6,24 авт. арк., тобто займає 132 с. включно з рисунками, які займають не всю площу сторінки – 30 с., список використаних джерел – 17 с., додатки – 2 с.

Актуальність теми. Відомо, що однією з основних причин аварійності при будівництві відкритим способом міських підземних комплексів і окремих споруд є деформація та обвалення укосів і підпірних стін котлованів. При цьому, тяжкість наслідків аварій різко зростає в умовах щільної міської забудови. Як показує світова практика, помилки на стадії проєктування підпірних споруд стінок котлованів можуть порушити нормальну експлуатацію близько розташованих міських об'єктів. Це може призвести також до їхнього руйнування з відповідними наслідками. Разом з тим, існуючі методи розрахунку стійкості ґрунтових масивів і підпірних конструкцій стінок котлованів, які використовуються в Україні, базуються на методі граничних станів. Проте, вони не дозволяють отримати повні дані про напружено-



деформований стан розглянутої системи, не враховують пружно-пластичні властивості матеріалів підпірної конструкції і ґрунтового середовища, а також їхню сумісну роботу у процесі складного навантаження. Тому діючі методи розрахунку стійкості укосів і підпірних конструкцій стінок котлованів, та збереження існуючих споруд з одного боку, не можуть гарантувати повну безпеку виконання виконання будівельних робіт та збереження існуючих споруд, а з іншого – не виключають неоправданого завищення запасів стійкості і несучої здатності за проєктованих конструкцій, що призводить до непомірних витрат на їхнє зведення і підтримку.

Отже, застосування математичного моделювання на основі теорії пластичної течії зі зміцненням дозволяє більш повно враховувати реальні властивості матеріалів конструкцій і ґрунтів для визначення напружено-деформованого стану, сумісної роботи ґрунтового середовища і підпірних стін котлованів та міських підземних споруд в умовах щільної забудови і буде сприяти підвищенню надійності їхнього проєктування та є досить актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація відповідає Закону України від 11.07.2001 р., № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» і змінам до цього закону від 09.09.2010 р., № 2519-IV «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року», Постанові Кабінету Міністрів України від 23.05.2011 р., № 547 «Про затвердження порядку застосування будівельних норм, розробки на основі національних технологічних традицій та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу». Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної теми № 0109U003001 «Використання нелінійної динамічної моделі для спільного розрахунку підпірних стінок і взаємодіючої з ними ґрунтової основи» (2009-2020 рр..) Одеської державної академії будівництва та архітектури, а також держбюджетної науково-дослідної теми № 0115U000608 «Теоретичні основи оцінки природних і техногенних ризиків під час будівництва і експлуатації портових і шельфових споруд» (2017-2019 роки) Одеського національного морського університету.

Виходячи із невирішених ще частин даної проблеми, в дисертації обґрунтована і сформульована мета роботи та задачі досліджень. Метою роботи є розробка розширеної моделі підпірної споруди і розташованих поруч об'єктів для більш точного визначення їхнього напружено-деформованого стану

з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів в умовах складного статичного навантаження.

Відповідно до поставленої мети, в роботі обрані та вирішені наступні **наукові задачі:**

- проаналізовані сучасні методи розрахунку розглянутих споруд та існуючі моделі матеріалів і ґрунтів;
- розроблена розширена пружно-пластична математична модель системи, що складається з підпірної споруди і ґрунтового середовища, яке її оточує, та поруч розташованих будівель;
- визначені основні рівняння, що описують стан та зміни системи в умовах складного навантаження;
- розроблений алгоритм вирішень отриманих нелінійних рівнянь на ЕОМ;
- удосконалені можливості програмного комплексу PLASTICA шляхом розширення бібліотеки функцій навантаження і поліпшення графічного інтерфейсу;
- виконанні теоретичні розрахунки з подальшим аналізом напружено-деформованого стану підпірної споруди укосу котловану і протизсувної споруди схилу;
- проведенні порівняння отриманих теоретичних та експериментальних даних для оцінки достовірності отриманих результатів;
- впроваджені результати досліджень в практику будівництва та навчальний процес.

Методи досліджень і ступінь їх обґрунтованості. Методологічною основою вирішення поставлених завдань досліджень був комплексний підхід, який включав в себе аналіз експериментальних даних і теоретичних досліджень підпірних споруд. Використовуючи фундаментальні положення механіки твердого деформівного тіла, на основі теорії пластичної течії зі зміцненням була розроблена більш досконала розрахункова модель дослідної системи і одержані основні рівняння, які описують її зміни в процесі складного навантаження.

Спираючись на базові чисельні методи, був розроблений алгоритм вирішення отриманих нелінійних рівнянь. Дискретизація області, яку займає модель, і дискретизація вихідних рівнянь виконувалася методом скінчених елементів (МСЕ). Це дозволило представити розглянуту задачу в алгебраїчній формі, тобто перейти від нескінченного числа ступенів свободи моделі до їхнього скінченного числа.

Побудова ітераційного процесу для визначення шуканих функцій, що характеризують напружено-деформований стан моделі з наперед заданою точністю, дало можливість зробити лінеаризацію вихідних нелінійних рівнянь. При цьому, операція з коригування їхніх коефіцієнтів виконувалася на кожній ітерації рішення з допомогою модифікації методу Ньютона-Канторовича.

Використовуючи поширену і надійну систему програмування C#, був вдосконалений програмний комплекс PLASTICA, що дозволило отримувати результати рішення у вигляді таблиць, схем, ізополів і епюр. На підставі результатів розрахунку здійснено аналіз напружено-деформованого стану дослідної системи.

Достовірність отриманих результатів підтверджується задовільною збіжністю експериментальних даних з розв'язками інших методів.

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертації, підтверджується на підставі використання фундаментальних положень механіки твердого деформівного тіла, сучасних математичних моделей об'єкта дослідження, які дозволяють урахувати реальні властивості матеріалів конструкцій і ґрунтів, базових чисельних методів рішення, які дають можливість отримати досить високу точність обчислень, застосуванням надійної системи програмування C#, задовільним збігом результатів розрахунків з експериментальними даними і даними, отриманими іншими методами, позитивними результатами впровадження у виробництво.

Основні елементи наукового внеску здобувача, що отримані ним особисто, та рівень їх наукової новизни.

Автором вперше:

- використана нова розширена модель підпірної споруди, яка дозволяє більш точно визначати її напружено-деформований стан і давати оцінку деформування та можливості руйнування поруч розташованих і запроектованих споруд;

- у розрахунках вперше враховуються пружно-пластичні деформації всіх елементів моделі підпірної споруди і поруч розташованих споруд, які часто значно перевершують пружні деформації;

- вперше враховується послідовність етапів навантаження системи відповідно до технології будівництва підпірних споруд для більш точного визначення їхнього напружено-деформованого стану;

- за результатами рішень, які задовільно підтверджуються

експериментальними даними, вперше встановлені основні закономірності та особливості деформування розглянутих нелінійних систем в умовах складного їхнього навантаження з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів та матеріалів конструкцій.

Автором вдосконалено:

– програмний комплекс PLASTICA шляхом розробки та налагодження ряду підпрограм (умова Писаренка-Лебедева, поліпшений інтерфейс користувача щодо введення вихідних даних і виведення результатів розрахунку), що дозволило отримувати результати рішення у вигляді таблиць, схем, ізополів і епюр.

Отримав подальший розвиток: метод розв'язання контактних задач зазначеної системи і раніше побудованих або запроєктованих поруч споруд та дослідження на основі цього напружено-деформованого стану і сумісної роботи підпірних споруд та ґрунтової основи чи протизсувних споруд схилів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонована розширена модель підпірних споруд у вигляді кріплень бічних стінок котлованів або зсувних схилів в умовах щільної міської забудови реалізована у вигляді програмного комплексу для ЕОМ. Це дозволяє врахувати відповідні теоретичні положення для практичного використання шляхом автоматизації вирішення складних нелінійних крайових задач. Він може застосовуватися при проектуванні розглянутих у роботі споруд.

Оцінка змісту дисертації. У вступі роботи наведене обґрунтування вибору теми дослідження, визначені мета та задачі дослідження, надана стисла характеристика досліджень та їх зв'язок з науковими програмами, сформульовані наукова новизна та практичне значення роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи на основі огляду вітчизняних і зарубіжних літературних джерел проаналізовано особливості застосування математичного моделювання для розглянутих систем та дано обґрунтування напрямів дослідження сумісної роботи підпірних споруд та ґрунтового масиву в умовах щільної міської забудови. Автором опрацьований та критично проаналізований значний обсяг досліджень у зазначеній галузі.

Розглянуті також типи підпірних споруд, що досліджуються в дисертації, дано опис підпірних кріплень вертикальних стін котлованів, які зводяться в умовах щільної міської забудови та протизсувних підпірних споруд. Також у цьому розділі зроблений аналіз фізико-механічних властивостей ґрунтів, бетонів і металів при їх складному навантаженні. На основі цього автором було

встановлено, що у розрахунках необхідно урахувати роботу елементів моделі підпірної споруди в пружно-пластичному стані. Це зумовлене тим, що пластичні деформації, які виникають в ній, часто значно перевершують пружні. У зв'язку з цим, така модель повинна бути представлена нелінійними рівняннями, вирішення яких можливе тільки чисельними методами.

У цьому ж розділі також розглянуті розрахункові моделі і методи розрахунку кріплень котлованів і фундаментів існуючих і запроектованих споруд, а також моделей механічної поведінки ґрунтів.

Проаналізовані дані вітчизняних і зарубіжних авторів показали, що в теперешній час відсутні дослідження розширених моделей розглянутих у роботі систем з урахуванням реальних властивостей матеріалів конструкцій і ґрунтів, а також їхньої сумісної роботи в умовах складного навантаження. Було також звернуто увагу на ще не вирішені наступні особливо важливі частини проблеми при математичному моделюванні підпірних споруд:

– модель підпірної споруди повинна включати в себе, як єдину систему, наступні елементи: 1) безпосередньо підпірну конструкцію; 2) розташовану поруч з нею частину ґрунтового масиву; 3) раніше побудовані або запроектовані на цих ґрунтах споруди; 4) підземні води. Така розширена модель дозволяє найбільш точно визначати її напружено-деформований стан і вирішувати питання щодо деформування і збереження поруч розташованих і запроектованих споруд;

– напружено-деформований стан підпірних споруд при їхньому пружно-пластичному деформуванні залежить від послідовності етапів навантаження. Тому найбільш точні результати вирішення в прироцненнях отримуються при урахуванні послідовності цих етапів, відповідної технології будівництва підпірних споруд.

У **другому розділі** наведена система основних нелінійних рівнянь запропонованої математичної моделі: геометричні, статичні і фізичні, які залежать від властивостей функції навантаження. Вони описують напружено-деформований стан розширеної системи за дії прикладеного складного статичного навантаження і можуть бути застосовані для вирішення вказаної проблеми. Показано, що функція навантаження повинна мати певні властивості, які сформульовані у вигляді трьох умов: початку пластичної течії, закону течії і закону зміцнення.

Оскільки не існує єдиної функції навантаження, придатної для різних будівельних матеріалів і ґрунтів, то у цьому розділі наведені деякі види таких функцій. Вони експериментально обґрунтовані для певних типів деформівних середовищ і можуть використовуватися у програмному комплексі.

У **третьому розділі** наведений опис алгоритму програмних комплексів, які використовуються для чисельної реалізації математичної моделі. Дискретизація області, яка зайнята розширеною моделлю підпірної споруди для плоскої задачі, виконана методом скінченних елементів. В якості скінченних елементів прийняті плоскі чотирьох-вузлові, восьми-вузлові та дев'яти-вузлові елементи. На межах ґрунтового масиву використовувалися плоскі нескінченні чотирьох-вузлові, п'яти-вузлові та шести-вузлові елементи.

Побудована скінченно-елементна модель отриманих в розділі 2 нелінійних рівнянь, які представляють математичну модель у дискретних точках підпірної споруди і оточуючих її елементів. Вона є системою нелінійних алгебраїчних рівнянь.

Розроблено алгоритм вирішення цієї системи нелінійних алгебраїчних рівнянь, в якому реалізовано ітераційний процес за методом Ньютона-Канторовича, де розроблено необхідну процедуру повернення вектора напружень в область, обмежену функцією навантаження. В якості функцій навантаження використовувалися умови: Кулона-Мора, Боткіна, Мізеса, Тріска-Сен-Венана, Генієва і Писаренка-Лебедева.

Побудований алгоритм рішення реалізований професорами Гришиним В. А. і Гришиним А. В. у вигляді програмного комплексу PLASTICA, написаного на мові С#. Автором дисертації написано і налагоджено ряд підпрограм (умова Писаренка-Лебедева, поліпшений інтерфейс користувача щодо введення вихідних даних і виведення результатів розрахунку), які включені в цей комплекс.

Окремі можливості запропонованого алгоритму реалізовано в програмному комплексі PLAXIS.

У **четвертому розділі** наведені приклади чисельної реалізації задач з використанням математичного моделювання в програмному комплексі PLASTICA, що ілюструють теоретичні дослідження, викладені в попередніх розділах і ПК PLAXIS.

У першому прикладі розглядається розрахунок залізобетонних кріплень стінок котловану для триповерхового підземного паркінгу і розташованих поруч об'єктів. Це п'ятиповерхова каркасна будівля і виготовлена залізобетонна плита. Розрахунок здійснювався за шістьма етапами відповідно до технології виробництва будівельних робіт. Результати розрахунку представлені у вигляді, відповідно ізополів переміщень, повних, нормальних і дотичних напружень системи, а також пластичних зон.

На основі отриманих результатів розрахунку зроблено аналіз напружено-деформованого стану системи з урахуванням раніше побудованих об'єктів і

процесу складного навантаження.

Вдосконалений програмний комплекс PLASTICA застосовувався для альтернативного розрахунку в порівнянні з методом граничних станів для визначення напружено-деформованого стану конструкції та поруч розташованих споруд під час проектування підземного паркінгу, розташованого в м. Кропивницькому. Територія Кіровоградської області належить до Східноєвропейської платформи, кристалічний фундамент якої утворений протерозойськими метаморфізованими породами: гранітами, гейсами, сланцями. Оскільки програмний комплекс удосконалений шляхом розширення бібліотеки функції навантаження Писаренка-Лебедева для скальних ґрунтів, дає можливість застосовувати під час розрахунку вказаної системи та отримати об'єктивні результати.

Використовуючи отримані результати розрахунку напружено-деформованого стану моделі, виконано уточнення та коригування конструктивних елементів залізобетонного кріплення стінки котловану. Отримана економія в товщині стінки, арматурі, витратах праці робітників та техніки, у порівнянні з попередньою проектно-кошторисною документацією.

Загальна вартість попереднього розрахунку складала 8 257 156,00 грн. після коригування 7 831 911,00 грн, економія склала 425 245,00 грн.

У другому прикладі розглянуто розрахунок протизсувної споруди. Для вирішення даного завдання застосовувався програмний комплекс PLAXIS, в якому вона може бути реалізована.

Як і в попередньому прикладі, розрахунок здійснювався у послідовних етапах відповідно до технології виробництва будівельних робіт. Результати розрахунку представлені у вигляді відповідних схем повних переміщень і ізополів повних і нормальних напруг. В прийнятій послідовності розрахунку не виникала втрата стійкості схилу на кожному з п'яти етапів рішення.

У **п'ятому розділі** для оцінки достовірності отриманих результатів проведено їхнє порівняння з даними розрахунків в програмному комплексі PLAXIS, класичним методом Кулона і експериментальними випробуваннями трьох різних авторів (З.В. Цагарелі, П.І. Яковлева, Г.Ю. Лазебника).

При узагальненні отриманих даних можна відмітити, що результати розрахунку в програмному комплексі PLAXIS вийшли дещо завищеними у порівнянні з експериментами даними. А найбільші відхилення спостерігалися при порівнянні з результатами, отриманими за класичною теорією Кулона, особливо в епюрі пасивного тиску піску на стіну.

Для прикладу, у першому порівнянні найбільш близько до експериментальних даних підходить епюра бокового тиску ґрунту, отримана за

розрахунком у програмному комплексі PLASTICA (максимальне відхилення в середній частині стінки становить 4,5%). Наступними представлені дані, отримані в програмному комплексі PLAXIS (максимальне відхилення – 6%). Найбільші відхилення має місце у розрахунок за Кулоном –79%.

В цілому, за результатами рішень, отриманих при застосуванні програмного комплексу PLASTICA, можна стверджувати, що вони задовільно підтверджуються експериментальними даними. Це дозволяє зробити висновок про те, що даний комплекс можна рекомендувати до застосування при проектуванні систем, які розглядаються у дисертаційній роботі.

Апробація роботи. Основні положення дисертації висвітлені у достатній кількості публікацій, а саме: у 15 наукових працях, в тому числі в 11 наукових публікаціях у спеціалізованих фахових виданнях України, що індексуються в наукометричних базах, у тому числі 6 – у збірниках наукових конференцій, 2 – у зарубіжних виданнях (з них: 1 – у збірнику, що входить в міжнародну наукометричну базу, 1 – у збірнику наукових конференцій, 2 – в інших виданнях).

Робота пройшла достатню апробацію, вона доповідалася та обговорювалася на 7 міжнародних та вітчизняних науково-практичних та науково-технічних конференціях і семінарах.

У загальних висновках сформульовано основні результати досліджень сумісної роботи підпирних споруд та ґрунтового масиву в умовах щільної міської забудови.

У додатках приведено акти про впровадження нових наукових результатів дисертаційної роботи у виробництво та навчальний процес.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

Зауваження та побажання по роботі:

1. Не у всіх рівняннях, наведених у дисертаційній роботі є розшифровки умовних, позначень, так, наприклад, у другому розділі у формулі (2.12) не зрозуміло, що означає параметр χ_m , це ускладнює аналіз формул
2. На наш погляд, при описі алгоритму розв'язання задачі в третьому розділі дисертаційної роботи було б раціонально представити його у вигляді укрупненої блок-схеми. Це дозволило б покращити його сприйняття.
3. Не зрозуміло: для яких цілей при дискретизації межі розрахункової області задачі використовувалися нескінченні елементи.

4. При описі алгоритму розв'язання задачі не приведені докази збіжності ітераційного процесу, який використовується при вирішенні системи нелінійних рівнянь. Тому не ясно: як вирішувалася проблема збіжності при вирішенні задачі?
5. У другому розділі роботи описується ізотропне і кінематичне зміцнення. З дисертації не ясно який саме вид зміцнення використовується в програмному комплексі PLASTICA?
6. Не ясно, як за результатами проведених розрахунків можна підібрати необхідну арматуру в конструкції?
7. З дисертаційної роботи не ясно які використовувалися умови на контакті підпірної споруди з ґрунтовим масивом?
8. У четвертому розділі представлені фізико-механічні характеристики інженерно-геологічних елементів, які використовувалися при розрахунку даного прикладу, але не вказані їх товщини.
9. При порівнянні результатів розрахунків, виконаних різними методами, для оцінки їх достовірності бажано було б зробити таке порівняння не тільки з результатами лабораторних і числових досліджень, але і натурних досліджень.
10. У четвертому розділі бажано було б порівняти результати розрахунку, отримані в програмному комплексі PLASTICA, з результатами, отриманими в інших програмних комплексах.

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

1. Дисертаційна робота Сипливця Олександра Олександровича є завершеною науково-дослідною працею, в якій вирішено важливу науково-технічну задачу з удосконалення методів розрахунку підпірних стін котлованів міських підземних споруд в умовах щільної міської забудови. В ній містяться нові, науково-обґрунтовані розробки у напрямку створення розширеної моделі підпірних споруд, яка дозволяє більш точно визначати її напружено-деформований стан. Робота має актуальність і практичне значення та відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Результати роботи достовірні і не визивають сумнівів.
2. Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, а лише підкреслюють складність узагальнення результатів досліджень.
3. Автореферат відповідає змісту дисертації і розкриває основні її положення. Робота містить нові теоретичні та чисельні результати досліджень для

визначення напружено-деформованого стану підпірних споруд з більш повним врахуванням реальних властивостей матеріалів конструкції і ґрунтів в процесі складного навантаження, має практичну цінність при проектуванні зазначених споруд.

4. Враховуючи викладене, вважаю, що дисертаційна робота на тему: «Математичне моделювання сумісної роботи підпірних споруд та ґрунтового масиву в умовах щільної міської забудови» відповідає всім вимогам до дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор, Сипливець Олександр Олександрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент, професор кафедри
Залізобетонних конструкцій та транспортних споруд
Одеської державної академії
будівництва та архітектури.
доктор технічних наук, професор

Карпюк В.М.

Особистий підпис д.т.н, професора В.М. Карпюка «Засвідчую»

Т.в.о. Начальника відділу кадрів ОДАБА



Зарицька М.І.