

УДК 624.137.5:625.745

*В.Д. Петренко, д.т.н., професор
М.А.Лісневський, асистент (аспірант)
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КУТОВОЇ ПІДПІРНОЇ СТІНКИ НА ПАЛЬОВОМУ ФУНДАМЕНТІ

Наведено результати дослідження напружено-деформованого стану кутової підірної стінки на пальовому фундаменті з використанням програмного комплексу LIRA.

Ключові слова: пальова підірня стінка, ґрунтовий масив, тривимірний скінчено-елементний аналіз.

УДК 624.137.5:625.745

*В.Д. Петренко, д.т.н., професор
М.А.Лисневский, ассистент (аспирант)
Днепропетровский национальный университет
железнодорожного транспорта имени ак. В. Лазаряна*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛКОВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ НА СВАЙНОМ ФУНДАМЕНТЕ

Приведены результаты исследования напряжено-деформированного состояния уголковой подпорной стенки на свайном фундаменте с использованием программного комплекса LIRA.

Ключевые слова: свайная подпорная стенка, ґрунтовый массив, трехмерный конечно-элементный анализ.

UDK 624.137.5:625.745

*V.D. Petrenko, Ph.D
M.A.Lisnevskiy, Postgraduate student (Assistant)
Dnepropetrovsk National University of Railway Transport
named after Academician V. Lazaryan*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRESS AND DEFORMED STATE OF THE ANGLE RETAINING WALL ON PILE FOUNDATION

The results of research of the stress and deformed state of the angle retaining wall are resulted on pile foundation with the use of the programnogo complex LIRA.

Keywords: pile retaining wall, soil massif, three-dimensional finite-elements analysis.

Вступ

Пальові підпірні стінки є новим типом підтримки споруд при автомобільному і залізничному будівництві в Україні. Сучасне будівництво потребує максимального використання простору в місті. При побудові виникають певні складнощі, пов'язані зі збереженням стану вже існуючих будівель та основ під ними. У цих умовах важливу роль відіграють інженерні захисні споруди та технології їх застосування, які повинні забезпечити мінімальні зміни напружено-деформованого стану конструкції при експлуатації.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій

Напружено-деформований стан та несучу здатність пальових підпірних стінок в деяких країнах, включаючи Україну, почали вивчати в останнє десятиріччя [1-3]. При цьому деякі дослідники вивчали передачу навантаження в розрахунковому методі НДС пальової підпірної стінки. Механічні характеристики та механізм передачі навантаження на палі підпірної стінки були вивчені за допомогою чисельного методу [1]. Механічний підхід при розрахунку пальової підпірної стіни був також використаний в рамках тестування фізичної моделі [2]. Модифікований метод проектування пальової підпірної стінки був запропонований на основі наукових досліджень навантажень, що прикладені до споруди [3].

В результаті проведених досліджень було розглянуто взаємодію між палями, ростверком та підпірною стінкою і механізм передачі навантаження на споруду. Були також представлені деякі спрощені методи розрахунку, які можуть бути використані для проектування підпірних

стінок. Однак, поки що немає даних про польові дослідження, які можуть бути використані для перевірки результатів, отриманих за допомогою чисельного моделювання або тестування фізичної моделі. В даній статті був використаний тривимірний скінченно-елементний аналіз для вивчення бічного тиску ґрунту на задню поверхню стіни, розподілу напружень і сил в ростверку і палях. Результати, які отримані в роботі, були також порівняні з даними, які отримані при застосуванні існуючого методу проектування. Деякі цінні поради висловлено для підтримки проектування пальових підпірних стінок в майбутньому.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми

Припускаючи, що несуча здатність фундаменту недостатня, пальовий фундамент може бути використаний для зниження впливу будівництва нових підпірних споруд на автомобільних і залізничних дорогах біля вже існуючих або в місцях щільної міської забудови та гарантувати стабільність фундаменту. В останні роки з цієї причини підпірні стінки на палях почали використовуватися при проектуванні автомобільних розв'язок і залізничного земляного полотна. Проте, при використанні простого методу сучасної будівельної механіки для розрахунку конструкції підпірних споруд, блоки стінки, ростверк і палі розглядаються в якості самостійних елементів. Взаємний вплив палей підпірних стін, ростверку, ґрунту не в повній мірі враховуються в цих методах проектування. Завдяки широкому застосуванню цього нового типу підпірних споруд, необхідне систематичне вивчення напружень, деформацій і механізму передачі навантажень від всіх елементів пальної підпірної стінки, щоб бути теоретичною основою для проектування.

Постановка завдання

Встановлено, що при проектуванні підпірних стінок ростверк і палі вважаються незалежними елементами. Оскільки спільна дія підпірної стінки, палей і ростверку, так і вплив ґрунту або скельної основи на споруду

враховуються не в повній мірі, тому є деякі обмеження в існуючих методах їх проектування. На основі аналізу трьохвимірною скінченно-елементного рішення були вивчені бічний тиск ґрунту на стінку, розподіл напружень і сил підкріплення ростверку і паль. Було виконано математичне моделювання складної системи «ґрунт-підпірна стінка-паль». Ці результати показали, що розтягуючі напруження були дуже маленькими і позитивними у більшості зон у ростверку і палях. Встановлено, що напруження, які отримані з використанням сучасних методів проектування були набагато менші, ніж розрахункові. Це пояснює той факт, що сучасний метод проектування ростверку і паль не відрізняється високою точністю і повинен бути оптимізований, щоб враховувати вплив фундаменту на всю споруду і взаємодію між різними її елементами.

Основний матеріал і результати

Зазвичай пальові підпірні стінки складаються з блоків підпірних стінок, ростверку і паль. Ростверк - це елемент передачі навантаження між стінкою і палями. Ця структура може бути розділена на два види: пальові гравітаційні і пальові кутові підпірні стінки, залежно від її типу. Блоки підпірної стінки і палі виконані як типові конструкції з залізобетону, а ростверк – з монолітного залізобетону на місці забудови споруди. Механічні характеристики паль підпірних стінок приймалися на основі заводських випробувань.

Пальова підпірна стінка, яка досліджується в цій статті, знаходиться в м. Києві на залізнично-мостовому переході через р. Дніпро – Автодорожня розв'язка з Наддніпрянським шосе (Рис. 1), що запроектований з використанням уніфікованих залізобетонних конструкцій кутового профілю з блоків типу ІСВ (ІСВ - 17 ... ІСВ -60). Загальна довжина правобічної стінки становить 84 м. При цьому на довжині 42 м блоки підпірної стінки типу ІСВ (ІСВ -23 ... ІСВ -43) встановлені спільно з підошвними блоками типу ІПФ (ІПФ -23 ... ІПФ -43) на щебеневу

підготовку товщиною 0.2 м . Далі на ділянці довжиною 42 м виконано влаштування 50 шт. паль прямокутного перерізу 35x35 см, з них на частині ділянки довжиною 12 м забиті 12 шт. паль типу С12 - 35Т5 довжиною 12 м кожна, а на іншій частині довжиною 30 м – 38 шт. паль типу С14 - 35Т5 та довжиною 14 м. В роботі розглядається частина стіни довжиною 30 м з максимальною висотою 6.5 м і палями довжиною 14 м. Під фундаментною частиною стіни залягають насипний ґрунт з прошарками супіску; суглинок чорний; пісок середньої щільності від малонасиченого до насиченого водою; супісок текучої консистенції; глина легка пилувата, в основному напівтвердої консистенції і пісок мілкий середньої щільності, насичений водою. Рівень ґрунтових вод знаходиться приблизно на позначці 6 м від поверхні. Виходячи з цих умов була використана пальова підпірна стіна для забезпечення стабільності споруди.

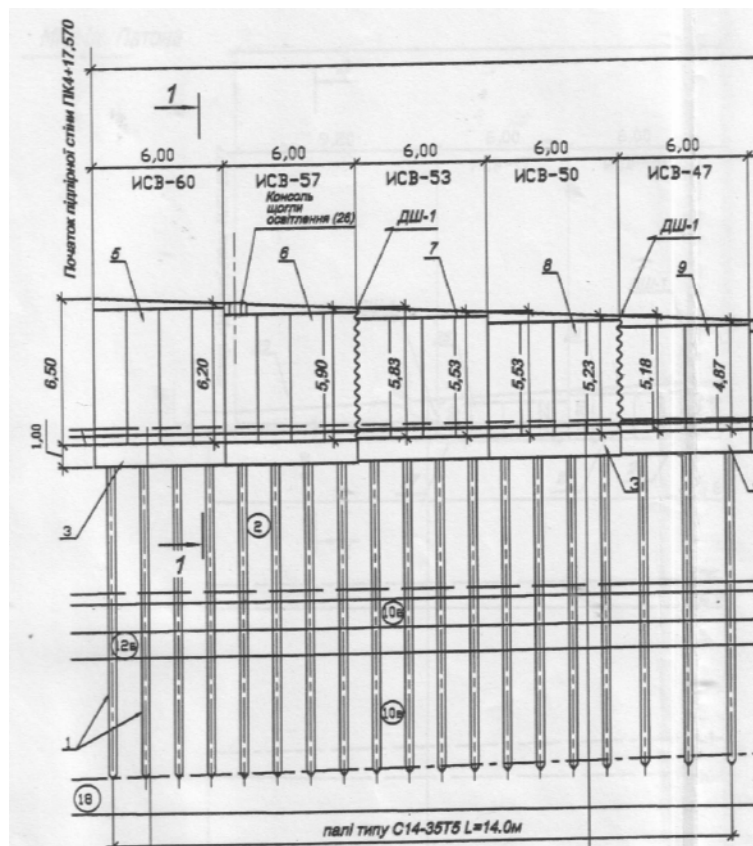


Рис. 1 Конструкція підпірної стінки: 2,10в, 12б, 18 – інженерно геологічні елементи (ІГЕ)

При висоті більше 4,5 м підпірні споруди виконані на фундаментах із забивних палей перерізом 35×35 см. Вони занурюються дизельним молотом в попередньо пробурені лідерні свердловини діаметром 30 см. Кінець палі за допомогою забивання заглиблюється на 1 м нижче забою свердловини. Палі розміщені в мілкому піску та супіску різної вологості. Забивання палей проводилося до відмови, що відповідає розрахунковому навантаженню на палю в 42,3 т (423 КН) . Палі з'єднувалися з підпірними стінками за допомогою залізобетонних ростверків довжиною 5990 мм , шириною 4500 мм і висотою 1000 мм .

Засипку пазух стін виконано дреноючим піщаним ґрунтом з коефіцієнтом фільтрації 2 м/добу і об'ємною вагою 2 т/м³. Ущільнення ґрунту виконано шарами товщиною 30 см із зволоженням водою, $K_{ущ}=1,02$.

У цьому дослідженні для моделювання кутової пальної підпірної стінки використовувався тривимірний скінченно-елементний програмний комплекс LIRA [4], що є популярним методом скінченно-елементного програмного забезпечення і знаходиться на стадії постійного вдосконалення на протязі багатьох років.

В роботі виконано моделювання ділянки стінки з ґрунтом довжиною відрізка стінки в 1,15 м, шириною 20,8 м і висотою 23 м, як показано на рис. 2. У поперечному напрямку призначається вісь x , у поздовжньому напрямку - вісь y , висотний напрямок - вісь z .

Сітка моделювання поверхні і всіх ґрунтів показана на рис. 2. Поздовжні і вертикальні межі моделі були зафіксовані для запобігання руху моделі на її кінцях. Межі нормального напрямку зафіксовано вздовж вісі x . Ліві і праві вертикальні межі були вибрано в напрямках осей x та y . База основи була прийнята для запобігання будь-яких рухів у всіх напрямках. Висота моделі була взята з умови спільної роботи палей і ґрунтового масиву, який представлений в основному вологими пісками. Сітку підпірної стіни, ростверку і палі показано на рис. 3.

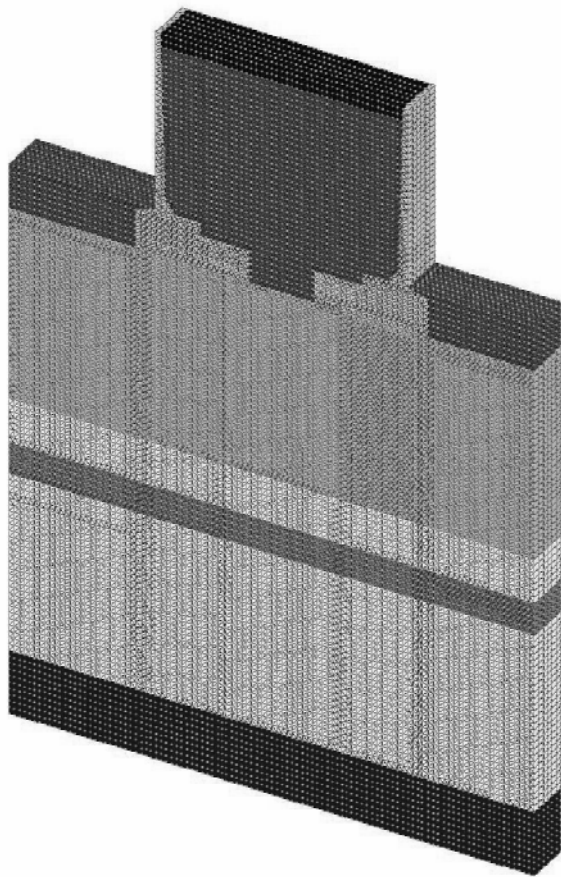


Рис. 2 Сіткова модель підпірної стінки з ґрутовим масивом

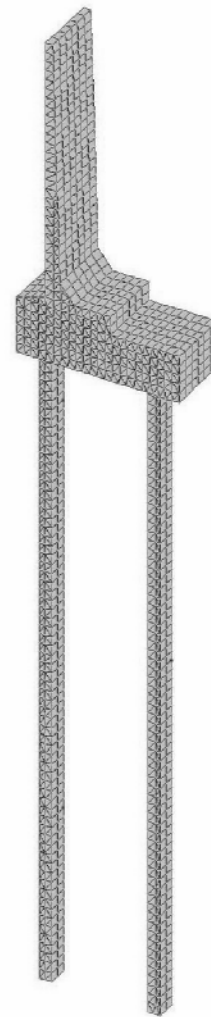


Рис. 3 Сіткова модель підпірної стінки з пальовим фундаментом

Скінченно-елементна модель включає наступні деформаційні характеристики ґрунтів: модуль пружності E в МПа; коефіцієнт Пуассона ν ; питома вага ґрунту γ в $\text{кН} / \text{м}^3$.

Властивості і параметри залізобетону для скінченно-елементного аналізу були визначенні у відповідності з проектом. Фізико-механічні характеристики моделі ґрунтів були отримані за допомогою лабораторних випробувань і наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Фізико механічні характеристики матеріалів конструкції і ґрунтів

Тип	ІГЕ	Назва	Параметри		
			Модуль пружності, E, т/м ²	Коефіцієнт Пуасона, ν	Питома вага, т/м ³
1		Залізобетонні елементи підпірної стіни	E=3.5e+006	$\nu = 0.2$	R _o =2.5
2		Шар асфальтобетону	E=2.3e+006	$\nu = 0.2$,	R _o =2.45
3		Матеріал засипки	E=5000	$\nu = 0.3$	R _o =2
4	2	Насипний ґрунт 6 м	E=1000	$\nu = 0.3$	R _o =1.8
5	10в	Пісок мілкий 1.4 м і 5.6 м	E=3100	$\nu = 0.3$	R _o =1.66
6	12б	Супісок 1м	E=900	$\nu = 0.3$	R _o =1.77
7	18	Глина "Київський мергель" 2м	E=2500	$\nu = 0.3$	R _o =1.87

Для розрахунку напружено-деформованого стану були задані навантаження в з'єднаннях скінченних елементів, на які розподіляється підпірна стінка. При цьому було прийнято сумарне навантаження від власної ваги ґрунту і підпірної стінки, а також навантаження від автотранспорту типу НК-100.

Зворотна засипка ґрунту та ґрунти основ були змодельовані за допомогою моделі Кулона-Мора, що є пружно-пластичною моделлю, здатною враховувати розширення ґрунту. Враховуючи, що підпірна стінка, залізобетонний ростверк і палі є значно більш жорсткими, ніж основа і ґрунт зворотної засипки, всі елементи споруди були прийняті як пружний матеріал.

Результати розрахунку в програмному комплексі LIRA наведені в таблицях 2-5 і на рис. 4-8.

Таблиця 2. Переміщення у всій моделі

Модель з підпірною стінкою без паль	Модель з підпірною стінкою на пальному фундаменті
Переміщення по осі z, мм	
0 - 156	0 - 44.3
Переміщення по осі x, мм	
-13.7 – 11.6	-5.66 – 5.84
Переміщення по осі y, мм	
-0.0028 – 0.0027	-0.153 – 0.487

Таблиця 3. Переміщення у моделі підпірної стінки

Кутова підпірна стінка без паль	Кутова підпірна стінка на пальному фундаменті
Переміщення по осі z, мм	
-130 – (-136)	-17.3 – (-21.8)
Переміщення по осі x, мм	
-4.04 – 6.92	-5.65 – 5.83
Переміщення по осі y, мм	
-0.0006 – 0.0011	-0.011 – 0.011

Таблиця 4. Напруження у всій моделі

Модель з підпірною стінкою без паль	Модель з підпірною стінкою на пальному фундаменті
Напруження N_x , кН/м ²	
-1.18e+004 – 8.53e+003	-1.18e+004 – 8.33e+003
Напруження N_y , кН/м ²	
-1.07e+004 – 8.86e+003	-1.07e+004 – 8.66e+003
Напруження N_z , кН/м ²	
-2.77e+003 – 1.21e+003	-2.77e+003 – 1.17e+003

Таблиця 5. Напруження у моделі підпірної стінки

Кутова підпірна стінка без паль	Кутова підпірна стінка на пальному фундаменті
Напруження N_x , кН/м ²	
-7.15e+003 – 8.53e+003	-6.97e+003 – 8.32e+003
Напруження N_y , кН/м ²	
-7.87e+003 – 8.86e+003	-7.6e+003 – 8.66e+003
Напруження N_z , кН/м ²	
-1.6e+003 – 1.21e+003	-1.56e+003 – 1.17e+003

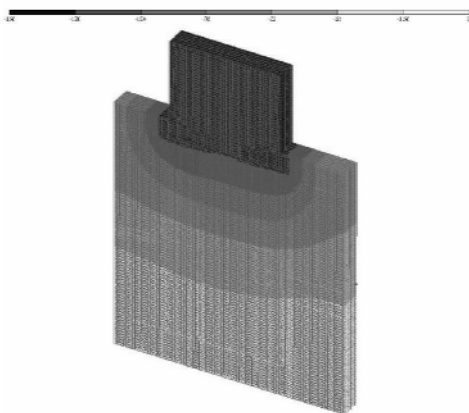


Рис. 4 Переміщення у всій моделі по осі z, мм

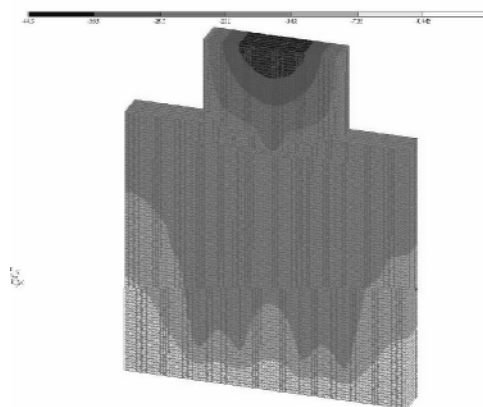


Рис. 5 Переміщення у всій моделі з пальовим фундаментом по осі z, мм

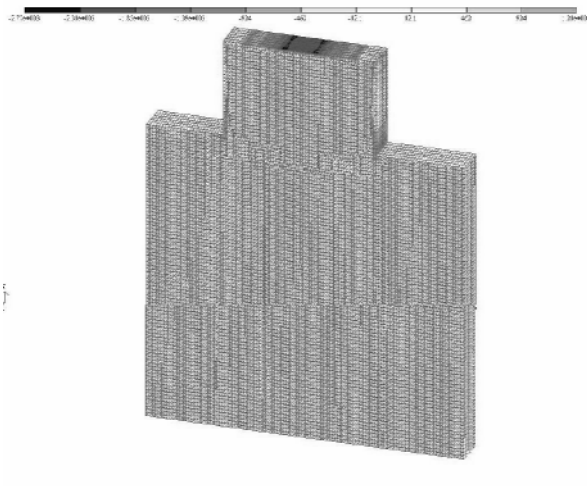


Рис. 6 Напруження у всій моделі N_z , кН/м^2

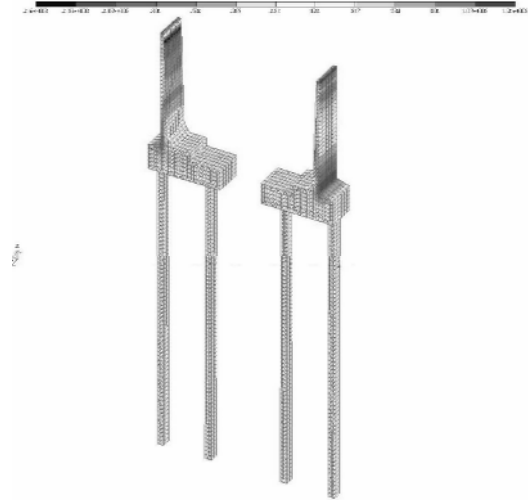


Рис. 7 Напруження у моделі підірної стінки з палями N_z , кН/м^2

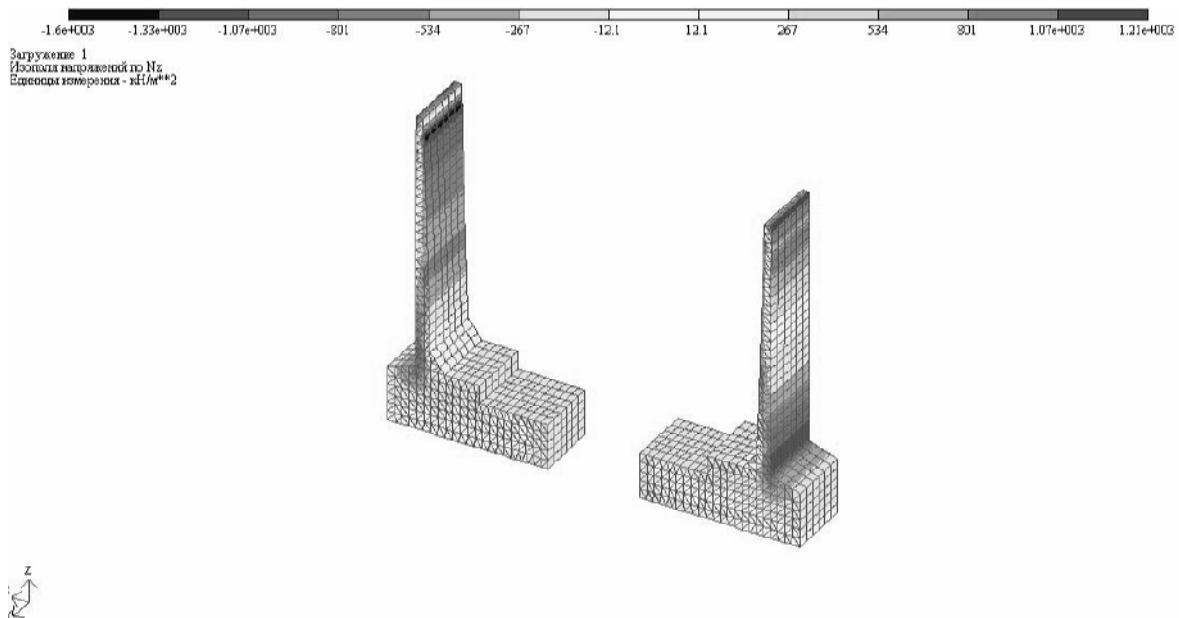


Рис. 8 Напруження у моделі підірної стінки без паль N_z , кН/м^2

Висновки

Висновки

Внаслідок проведеної роботи були одержані наступні наукові результати:

– виявлені і проаналізовані особливості напружено-деформованого стану основи і споруди з тривимірним характером нелінійної взаємодії

елементів системи «основа – пальовий фундамент – підпірна стінка» за допомогою моделі в програмному комплексі LIRA.

– досліджено вплив використання пальового фундаменту на напружено-деформований стан ґрунтової основи та формування границь стисненої зони при взаємодії пальового фундаменту з ґрунтовою основою.

– визначено, що основні напруження по вісі z в моделях підпірної стінки з палями менше напружень в моделях без паль в 1.33 рази, а переміщення – 7.5 рази. Це підтверджує той факт, що вертикальна складова значно зменшується і роль підпірної стінки суттєво збільшується.

Література

1. *Qiao C.L. Study on Action Mechanism of Piled Retaining Wall / C.L. Qiao. – Chengdu, China: Sichuan University, 2004.*
2. *Gao Z.H. Experimental Study and Numerical Analysis of Mechanical Behavior of Piled Retaining Wall Structure / Z.H. Gao. – Chengdu, China: Sichuan University, 2005.*
3. *Zhang M. Study on Designing Theory and Engineering Application of Piled Retaining Wall Structure / M. Zhang. – Chengdu, China: Jiaotong University, 2007*
4. *Гензерский Ю.В. ЛИРА-САПР 2011 Учебное пособие / Д.В. Медведев, О.И. Палиенко, В.П. Туток. – К.: Электронное издание, 2011. – 396 с.*