МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.154

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ЗУСИЛЬ МІЖ ПАЛЯМИ МОДЕЛЕЙ КУЩІВ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ

М. М. Попович, І. І. Ваганов

Проведено дослідження перерозподілу зусиль між палями в кущі при використанні паль однієї довжини та різних. Досліджувалася технологія забивання паль. Проаналізовано отримані результати та виявлено певні закономірності. Доведено, що несуча спроможність ґрунту з палями різної довжини в складі куща не нижче несучої спроможності куща паль однакової довжини.

Проведено исследование перераспределения усилий между сваями в кусте при использовании свай одной длины и разных. Исследовалась технология забивки свай. Проанализировано полученные результаты и выявлены определенные закономерности. Доказано, что несущая способность грунта с сваями разной длины в составе куста не ниже несущей способности куста свай одинаковой длины.

Research of redistribution of efforts is conducted between piles in a bush at the use of piles of one length and different. Technology of palification was investigated. The got results are analysed and certain conformities to law are educed. Proved that the bearing capacity of soil with piles of different lengths within the hive is below carrying capacity bush driving the same length.

Вступ

Для широкого діапазону ґрунтових умов найбільш індустріальними і економічними видами фундаментів є пальові. Однак, несуча спроможність пальових фундаментів часто не повною мірою використовується через відсутність надійних методів проектування за граничними станами.

Опубліковані результати експериментальних і теоретичних досліджень свідчать про недооцінку роботи одиничних паль та кущів із паль з навколишнім ґрунтом.

В останні роки дослідники повернулися до питання перерозподілу навантаження між палями в кущі при появі «кущового ефекту».

Так в роботі [1] стверджується, що центральні палі сприймають більшу частину навантаження ніж крайні, а в роботі [2] наводять результати, в яких на крайні палі передається більша частина навантаження ніж на центральні.

Аналіз результатів раніше проведених досліджень

Дослідження Б. С. Юшкова [1] на глинистих ґрунтах з показником текучості 0,75 показали, що при випробуваннях в день забиття паль, розподілення навантаження між палями проходить нерівномірно. Найбільше навантаження сприймають кутові палі, а найменше – центральні.

З відпочинком паль, за рахунок тиксотропного ефекту, проходило збільшення несучої здатності як окремих паль, так і куща в цілому. При цьому підвищення складало біля 75 %, найбільш інтенсивно зростав опір центральних паль (96 % проти 57 % для кутових). При цьому проходив перерозподіл несучої здатності паль. Так, якщо в день забиття несуча здатність крайньої палі перевищувала на 106 % несучу здатність центральної, то через 28 діб різниця зменшилась і склала 65 %. Ряд інших дослідників підтвердили, що частка участі в передачі навантаження на ґрунт основи паль в кущі в процесі навантаження не являється величиною постійною. Так, якщо на перших стадіях навантаження кутові палі сприймали на 37 % більші зусилля ніж центральні, то при наступних ступенях перевищення склало тільки 12 %.

В роботі А. А. Бартоломея [2] описано результати випробування куща з 15 паль в слабких глинистих ґрунтах. Найбільше навантаження сприймають кутові палі та палі розташовані в крайніх рядах, найменше – палі в середині куща. Дослідженню та використанню «кущового

© М. М. Попович, І. І. Ваганов

ефекту» в практиці розрахунків присвячені роботи А. А. Луга, А. А. Ободовського, А. Ю. Василенка, В. І. Бермана. Всі вони проводилися з використанням даних про «кущовий ефект» та відомостей про те, що центральні палі в кущі менше навантажені. Звідси виходила пропозиція використовувати меншу кількість паль в центрі куща або робити їх коротшими.

Проведені експерименти показали зниження несучої здатності паль в кущі, з паль однієї довжини влаштованих за існуючою технологією при відстанях між палями 3d, порівняно з несучою здатністю окремо стоячої палі.

Основна частина експериментальних робіт Бермана В. І. [3] присвячена порівнянню еталонних (з паль однакової довжини) та дослідних (з паль різної довжини) груп паль. Кожен кущ складався з 9 паль, об'єднаних жорстким ростверком, при постійні відстані між палями 3d. Послідовність забиття паль в еталонних кущах виконувалася за традиційною технологією – «змійкою», а в дослідних в першу чергу забивали кутові палі, потім проміжні і в останню чергу – центральні.

Дослідження показали, що при однаковій несучій здатності кущі із паль різної довжини мають меншу матеріалоємність (на 10-12 %) і енергоємність занурення (на 18-20 %) в порівнянні з кущами паль однакової довжини. При цьому несуча здатність коротких паль в кущі була не нижча несучої здатності паль максимальної довжини. В цьому випадку, на думку автора, проявляється ефект направленого ущільнення, оскільки в центрі куща ґрунт був настільки ущільненим, що довжина центральної палі могла бути меншою ніж прийняли, із збереженням середньої для всіх паль несучої спроможності.

Мета досліджень

З метою дослідження перерозподілу навантажень між палями в складі кущів в залежності від їх параметрів була проведена серія експериментів на моделях одиничних паль та груп паль, виконаних в масштабі 1:10.

Проведені порівняні дослідження еталонних (паль однієї довжини) та дослідних (палі різної довжини) груп паль.

Дослідження проводилися в лотку з розмірами 1800×1200×1000 мм. Як основу пальового фундаменту прийняли пісок середньої крупності, середньої щільності з вологістю 0,058 – 0,06. Основу готували, вкладаючи пісок шарами по 150мм з наступним ущільненням та контролем щільності ваговим методом з використанням способу «ріжучого кільця».

Моделі – дерев'яні палі перерізом 30×30 мм довжиною 500, 600 і 700 мм. Дослідний кущ містив по 9 паль, об'єднаних ростверком (жорстка металева плита товщиною 20 мм). З'єднання паль з ростверком шарнірне (рис. 1).

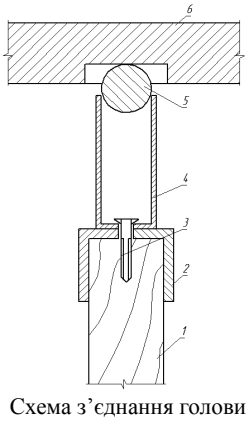

Рис. 1. Схема з'єднання голови палі та ростверка

1 – паля; 2 – металевий наголовник; 3 – елемент кріплення; 4 – датчик тиску; 5 – центрувальна куля; 6 – плита ростверка

В процесі експериментів змінювали відстані між палями, довжину паль та їх розташування в кущі (табл. 1). Кожен дослід проводився з трикратним повторенням.

Глибина лотка забезпечувала відстань не менше 8d від вістря найдовших паль до дна лотка, тобто нижче межі стискаємої товщі, зафіксованої в дослідженнях з кущами паль [2], прийняті відстані від паль і кущів паль до бортів лотка також виключали їх вплив (рис. 2).

Після закінчення випробування двох моделей кущів, ґрунт вивантажувався та готувалась основа для наступних чи повторення попередніх дослідів.

Аналогічна серія досліджень проведена з піском крихкотілим.

Всього проведено 50 випробувань. Послідовність влаштування паль в еталонних кущах виконана в двох варіантах. Перший полягав в забитті в першу чергу кутових паль, потім суміжних проміжних та в останню чергу центральних. Другий варіант влаштовувався за традиційною технологією «змійка».

Влаштування кущів із паль різної довжини виконували в такій послідовності: у першу чергу забивали кутові палі, потім суміжні з ними проміжні і в останню чергу центральну (рис. 2).

Таблиця 1

Серія досліджень в піску середньої щільності

Серія дослідів	Щільність піску	Відстань між палями в кущі	Довжина паль, мм	Примітка
1.	Середня щільність	2,5d	500	
			600	
			700	
		3d	500	
			600	
			700	
		4d	500	
			600	
			700	
		3d	700	кутові
			500	центральні
		4d	500	кутові
			700	центральні

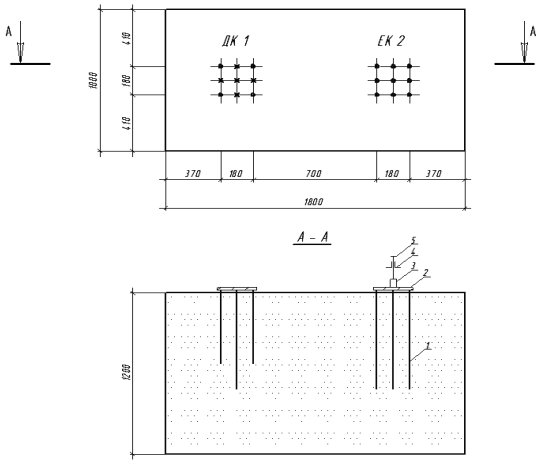

Рис. 2. Розташування кущів паль в дослідному лотку
× - паля довжиною 700мм;
о - паля довжиною 500мм;
ЕК 1 – еталонний кущ;
ДК 2 – дослідний кущ;
1 – паля;
2 – ростверк;
3 – динамометр;
4 – опорна рама;
5 – гвинтовий домкрат.

Забиття паль виконувалася гравітаційним молотом з використанням напрямного пристрою. Навантаження на моделі кущів із паль передавалося ступенями і витримувалося до умовної стабілізації осадки.

Величина ступеня навантаження не більша 1/10 граничного навантаження на одиничну палю. Переміщення одиночних паль та кущів паль вимірювалися двома прогиномірами 6–ПАО.

Загальне навантаження на палю, чи кущ паль вимірювали з допомогою зразкового динамометра стиску типу ДОСМ 3-50У.

Для вимірювання частки розподілення навантажень між палями в кущі було використано тензометричні датчики тиску у вигляді металевого стакана висотою 50 мм, діаметром 20 мм з товщиною стінки 0,5 мм і наклеєними датчиками опору. Тензометричні датчики тарувалися і використовувалися з реєстрацією приладом для вимірювання деформацій ИДЦ – 1.

Були виконані дві групи експериментальних досліджень:

1. Випробування кущів паль однакових довжин. При випробуванні кущів моделей паль однакових

довжин встановлено, що палі в кущі сприймають навантаження нерівномірно - на центральну палю передається більша частка навантаження, чим на інші палі. Важливо відмітити, що несуча здатність одиночної палі та палі в кущі при граничних навантаженнях практично рівні, за винятком центральної палі, котра має підвищену несучу здатність.

При зміні відстані між палями було отримано оптимальну відстань (3d) між палями, при якій досягається найбільша несуча здатність куща паль (рис. 3)

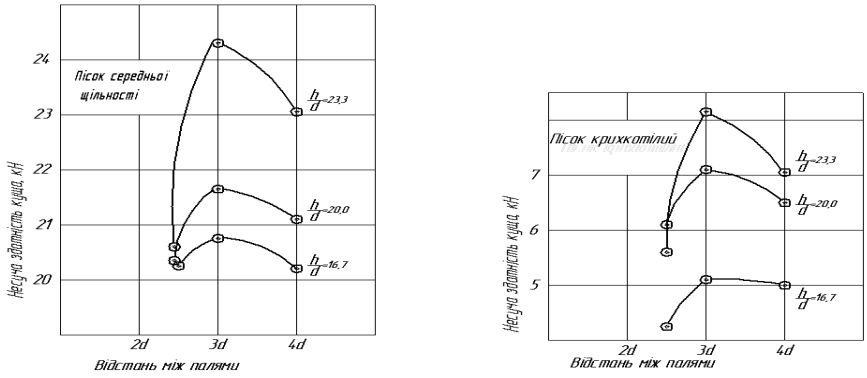

Рис. 3. Залежність несучої здатності кущів паль від відстані між палями

2. Випробування кущів із паль різних довжин. При проведенні досліджень на моделях з використанням паль різних довжин з використанням як основи піску середньо-зернистого середньої щільності, встановлено, що незалежно від довжини паль в складі куща на центральну палю передається більше навантаження ніж на інші палі. Відповідно підвищується несуча здатність палі, розташованої в центрі куща, порівняно з одиничною палею такої ж довжини.

Це можна пояснити так: на першому етапі прикладання навантаження на кущ паль проходить незначне рівномірне ущільнення масиву ґрунту між палями. На даному етапі всі палі куща активно включаються в роботу не розділяючись на кутові, проміжні та центральні (рис. 4).

При подальшому навантаженні куща паль включається в роботу підошва ростверка і починається утворення ущільненої зони ґрунту під ростверком. При збільшенні навантаження в нижній частині стисливої товщі ґрунту виникає протидіюча піраміда, яка викликає перерозподіл зусиль між палями в кущі.

З підвищенням навантаження на кущ паль верхня і нижня ущільнені зони з'єднуються і підвищується несуча здатність центральної і проміжних паль, які частково попадають у сильно ущільнену зону (рис. 5).

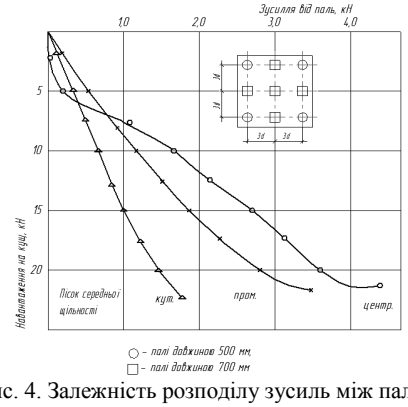

Рис. 4. Залежність розподілу зусиль між палями від навантаження на кущ паль

Кутові палі тільки верхніми і нижніми частинами попадають в ущільнену зону і є значно перевантаженими. Тут підтверджується висновок, наведений в роботі [4] – «Досить часто на периферійні палі приходиться таке навантаження, яке перевищує їх несучу здатність. Але при зменшені довжини даних паль зменшується їх жорсткість, і тим самим можна досягти зменшення навантаження на них».

Були випробувані кущі паль із розташуванням найбільш короткої палі в центрі та кущі паль з розташуванням найбільш коротких паль по кутах, а найбільш довгих в центрі.

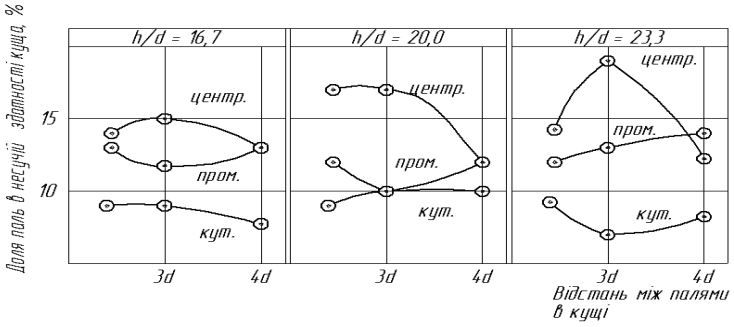

Рис. 5. Залежність частки паль в несучій здатності куща від відстані між палями

Результати досліджень показали, що в обох випадках несуча здатність ґрунту з палями різної довжини в складі куща не нижча несучої здатнлсті куща паль однакової довжини (рівної довжині найдовшої палі в кущі).

Висновки

В результаті досліджень розподілення зусиль між палями в кущі, влаштованому на основі з піску встановлено:

- навантаження на палі передаються рівномірно, а найбільшу частку сприймає центральна паля;
- взаємодія з ґрунтом різних паль куща суттєво відрізняється і залежить від параметрів паль та місця розташування палі в кущі;
- використання в кущі паль більш коротких не змінює несучої спроможності куща, незалежно від розташування їх в центрі чи по кутах куща;
- система забиття паль впливає на несучу здатність куща із паль. При цьому для паль однакової довжини найбільш оптимальною є традиційна технологія «змійка»;
- розподілення зусиль в кущі проявляється в процесі підвищення навантажень при будівництві, коли навантаження ще не досягають своїх граничних значень, а в подальшому навантаження рівномірно розподіляються між палями фундаменту.

Використана література

1. Юшков Б. С. Распределение нагрузки между сваями кустов при их работе в водонасыщенных ґрунтах во времени. – В кн. Основания и фундаменты. Межвузовский сб. научных трудов. Пермь, Пермский политехнический институт, 1980.
2. Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайных фундаментов. – М. : Стройиздат, 1994. – 384 с.
3. Берман В. И. Возведение фундаментов из кустов забивных свай разной длины. – Промышленное строительство и инженерные сооружения, 1983. – № 3. – С. 28-33.
4. Бойко І. П. Вибір розташування паль різної довжини в характерних зонах фундаменту // Бойко І. П., Підлуцький В. Л. – Будівельні конструкції. – К. : НДІБК, 2008. – Вип. 71. – Книга 1. – С. 479-485.

Попович Микола Миколайович – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Ваганов Іван Іванович – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету