

## ВЗАЄМОДІЯ ПАЛЬ-КОЛОН З ҐРУНТОМ ОСНОВИ ПРИ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО І ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕНЬ

Т. М. Барчукова

*Проаналізовані особливості роботи паль-колон натурних розмірів різної форми і глибини залягання їх подошви з ґрунтом основи. Досліджений вплив цих на несучу здатність паль-колон.*

*Проанализированы особенности работы свай-колонн натурных размеров формы и глубины залегания их подошвы с. Исследовано влияние этих факторов на несущую способность свай-колонн.*

*The features of work of piles-columns of model sizes of different form and depth of bedding of their sole are analyzed with soil of foundation. Influence of these factors is on ability of piles-columns.*

### Вступ

Проблема раціонального проектування фундаментів є однією з актуальних в області фундаментобудування. Серед конструкцій палі-колони відносяться до раціональних (відсутність ростверка, мінімальний об'єм земляних робіт). Такі конструкції, як пальові опори під технологічне устаткування і трубопроводи, одиничні опори та ін. за умов своєї роботи потребують точного розрахунку на дію навантажень. У зв'язку з цим натурні дослідження і аналіз роботи вертикально і горизонтально навантажених паль-колон, з метою вдосконалення їх конструктивного рішення є актуальною задачею.

### Фізико-механічні показники властивостей ґрунтів дослідних майданчиків, геометричні параметри паль-колон

Експериментальні дослідження проведені на трьох дослідних майданчиках, в містах Краснодарі (територія Краснодарського сільськогосподарського інституту) і Одесі (район Пересипу і територія ТЕЦ) [1], [2], [3].

Несучим шаром для паль-колон в м. Краснодарі служить суглинок лесоподібний, просідаючий ( $\rho = 1,69 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_s = 2,72 \text{ г/см}^3$ ,  $E = 18/7 \text{ МПа}$ ), а в Одесі – на другому і третьому майданчику, відповідно, пісок дрібний, сірий глинистий ( $\rho = 1,97 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_s = 2,68 \text{ г/см}^3$ ,  $E = 20 \text{ МПа}$ ) і пісок середньої крупності, водонасичений ( $\rho = 1,97 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_s = 2,66 \text{ г/см}^3$ ,  $E = 15 \text{ МПа}$ ).

Геометричні параметри випробуваних паль-колон наведені в таблиці 1.

### Експериментальні дослідження паль-колон з ґрунтом основи

Випробування проводилися на дію вертикального і горизонтального навантажень.

Всі палі-колони, крім С-1, виконані з розширеннями. Розширення – збільшення поперечного перерізу підземної частини палі-колони.

Осідання паль від вертикальних навантажень вимірювалися з точністю 0,1 мм.

Горизонтальні переміщення в надземній і підземній частині вимірювалися з точністю 0,1 мм, а на відмітці денної поверхні - двома незалежними системами.

Вимірювання переміщень надземної частини палі-колони виконувалося з інтервалом по висоті від 0,12 до 1,6 м, а підземної – з інтервалом по глибині 0,20-0,25 м.

Переміщення ґрунту перед навантаженою гранню підземної частини палі-колони вимірювалися магнітними марками. Марки встановлювалися в горизонтальних свердловинах, пробурених з шурфу в осьовій вертикальній площині і паралельній їй площині, розташованій на відстані 29 см. Відстань по глибині між рядами свердловин в кожній площині 20-25 см. Після установки марок в кожен свердловину поміщалося трубка, торець якої притискався пружинами до грані палі (рис. 1). Поворот підземної частини палі – колони, визначався за наслідками переміщень трубок.

## Геометричні параметри паль-колон

Марка паль-колон	Спосіб занурення	Переріз підшви паль-колон, м	Переріз в рівні денної поверхні, м	Глибина занурення паль-колон, м	Конструкція палі-колон в рівні денної поверхні	Навантаження, КН	
						N	Q
С-1	Забиті за допомогою копрового агрегату 878 А	0,3×0,3	0,3×0,3	2	-	86	19; 22; 30
С-2		0,3×0,3	1,0×0,87	3	Горизонтальна плита	85	14; 27; 35; 45
С-3		0,3×0,3	1,0×0,87	2		88	14; 27; 35; 45
С-4		0,3×0,3	0,7×0,7	2	-	88	17; 33
С-5	Монтаж паль-колон в свердловину	0,3×0,3	0,7×0,7	2	Зачеканення простору між свердловиною і палією бетоном	88	35; 50
С-6		0,8	0,8	2		82	17
С-7		0,8	0,8	3		82	17; 30; 45; 50
С-8		0,8	0,8	2		160	1,3-9,1
С-9		0,8	1,4×1,4	1.7	Горизонтальна плита	160	1,4-24,2
С-10		0,8	1,4×1,4	2		160	1,4-26,7
С-11		0,8	1,4×1,4	1.5		120	4,0-15,2

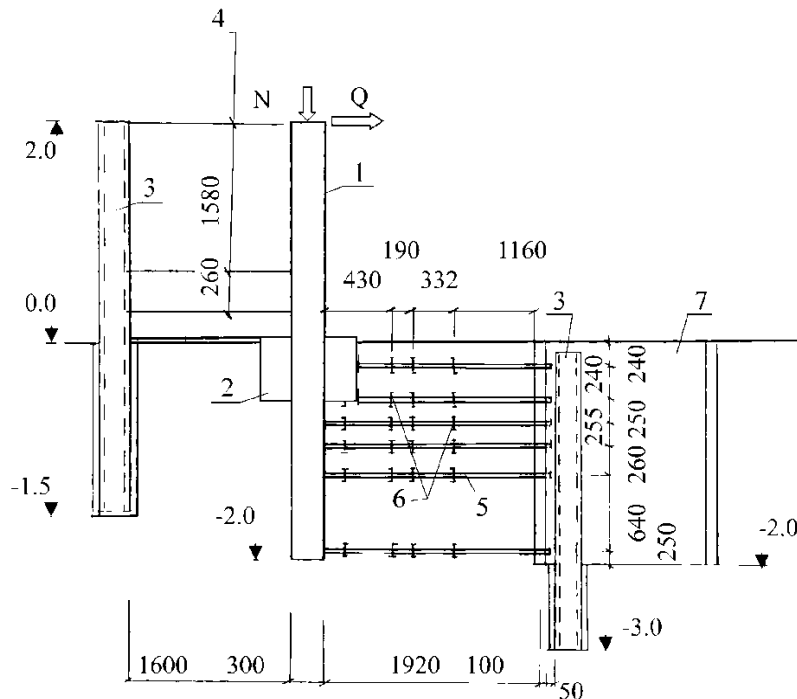


Рис. 1. Схема закладки магнітних марок палі-колони С-2

- 1 – палі-колонна;
- 2 – розширення стовбура підземної частини палі-колонни;
- 3 – реперний стояк (швелер № 20);
- 4 – сталевий струна  $\varnothing 0,3$  мм для вимірювань переміщень стовбура палі-колонни;
- 5 – трубка, що вимірює поворот стовбура палі-колонни;
- 6 – магнітні марки;
- 7 – шурф (захищений бетонним кільцем)  $\varnothing 1500$  мм

Марка являла собою корпус з лопастями, що фіксували її положення в свердловині. Корпус забезпечений кільцевим магнітом. Вимірювання початкового і проміжних положень марок з точністю 0,01 мм виконувалися приладом, забезпеченим герконом (герметичним контактом), який замикає електричну мережу при перетині магнітного поля марки.

Межа зони деформації зафіксована за наслідками аналізу переміщень магнітних марок. Марки закладалися в основу в плані і по глибині з таким розрахунком, щоб частина їх, контрольні,

змонтовані на реперний стоек, в шурфі, залишалися нерухомими в процесі всього дослідження. За наслідками переміщень марок знаходилися точки основи з нульовими переміщеннями, які фіксували межу зони деформації.

Тиск ґрунту на грань палі визначався вимірювальним комплексом, що складався з датчиків тиску, з'єднаних з приладом ІД-624, точність відліку якого коливалася в межах від 4 до 8 кПа.

Датчики кріпилися до навантажених лобової і тильної граней палі, уздовж її осі, з інтервалом по глибині 0,3 м.

### Результати, одержані при випробуваннях

Аналіз результатів, одержаних при випробуваннях, показав, що палі-колона з розширенням (С-2) одержала найменші величини осідань. Осідання палі-колон залежить від природної щільності і показників стисливості ґрунту. На величину осідання також впливає:

- глибина занурення палі. При заглибленні палі-колон С-2 в ґрунт осідання відповідно складало 0,03 і 0,1 см.
- збільшення розмірів поперечного перерізу в рівні денної поверхні. Максимальні розміри у палі-колон з розширенням (С-2), мінімальні – у палі-колон без розширення (С-1). Осідання палі відповідно дорівнює 0,03 і 1,4 см.

Вертикальні зусилля підвищують опір палі-колон горизонтальним навантаженням.

Горизонтальне навантаження в проведених випробуваннях прикладалося на висоті “Н” від денної поверхні. Конструкція “палі-колон” працює як єдиний стержень в своїй надземній і підземній частині.

Величина горизонтального переміщення на відмітці планування залежить від геометричних параметрів підземної частини палі-колон. Застосування розширення збільшує їх несучу здатність, зменшуючи осідання і горизонтальні переміщення. Збільшення в 3,3 раза розмірів поперечного перерізу підземної частини палі-колон з розширенням (С-3) на відмітці планування в порівнянні з палі-колоною без розширення (С-1) знизило її горизонтальне переміщення в 3,0, а осідання – в 1,3 раза при рівних значеннях навантаження і глибини занурення підшви.

Збільшення глибини закладення підшви палі-колон С-2 в порівнянні з С-3 (з 2 до 3 м) знизило горизонтальні переміщення на відмітці планування в 2,5 раза, при рівному навантаженні, однакових геометричних параметрах і фізико-механічних показниках властивостей ґрунтів (рис. 2).

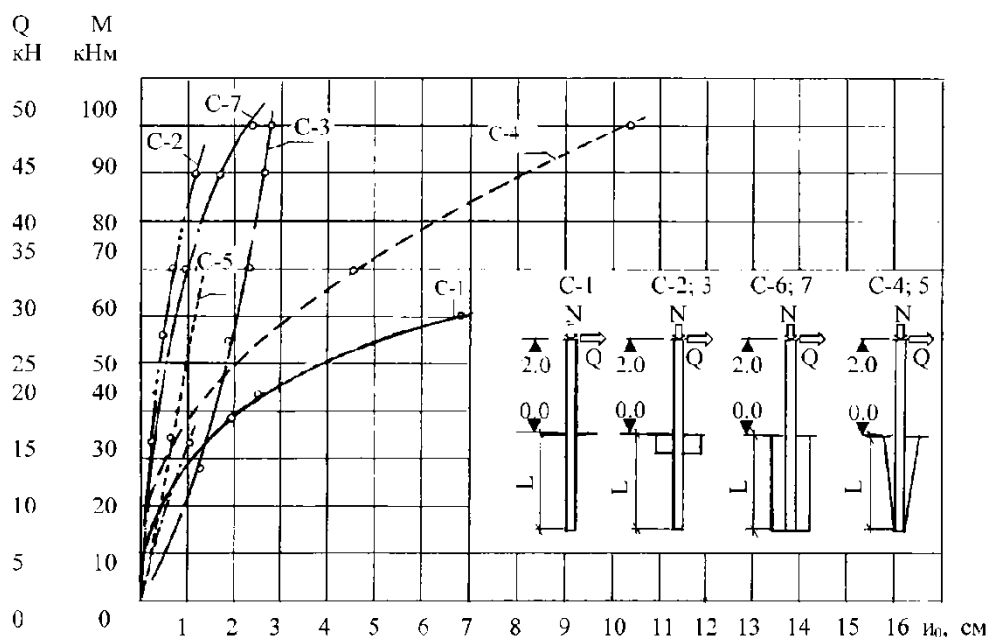


Рис. 2. Графік залежності горизонтальних переміщень грані палі-колон на позначці 0.0

Глибина точки нульових переміщень (т.н.п.) не є постійною і змінюється з підвищенням навантаження в межах 0,5...0,6 від довжини підземної частини палі-колон. Її положення залежить від геометричних параметрів палі, величини горизонтальних переміщень і ґрунтових

умов. Місцеположення т.н.п. палі-колони з розширенням (С-3) в 1,5 раза вище, ніж палі-колони без розширення (С-1) за інших рівних умов.

При додатку горизонтального навантаження до палі-колони, відбувається її поворот щодо т.н.п. В ґрунтах основи перед навантаженими гранями формується і розвивається зона деформації, що складається з двох об'ємів, розташованих вище і нижче т.н.п. Верхній об'єм розташований у передньої (лобової), а нижній у задньої (тильної) грані палі.

У дослідах з палями проведені спостереження за розвитком об'єму зони деформації одержаного за результатами переміщень марок в ґрунті перед навантаженою гранню підземної частини палі. Максимальна величина зони деформації – на відмітці 0,5 м від денної поверхні. Якщо навантаження передається ступенями, то від кожного ступеня формується об'єм зони деформації, відповідно даним силовим діям. Результати спостережень за переміщеннями граней паль і марок дозволили прослідкувати за зміною меж об'єму зон деформацій в подовжньому і поперечному перерізі. На рис. 3 наведені схеми з контурами поперечного перерізу об'єму зон деформацій перед лобовою гранню палі С-2 на ділянці між денною поверхнею і точкою нульових переміщень. Об'єм зони деформації, що формується перед навантаженою гранню підземної частини палі-колони з розширенням, в 1,1 раза менший, ніж палі-колони без розширення при рівних навантаженнях і глибині занурення підшви.

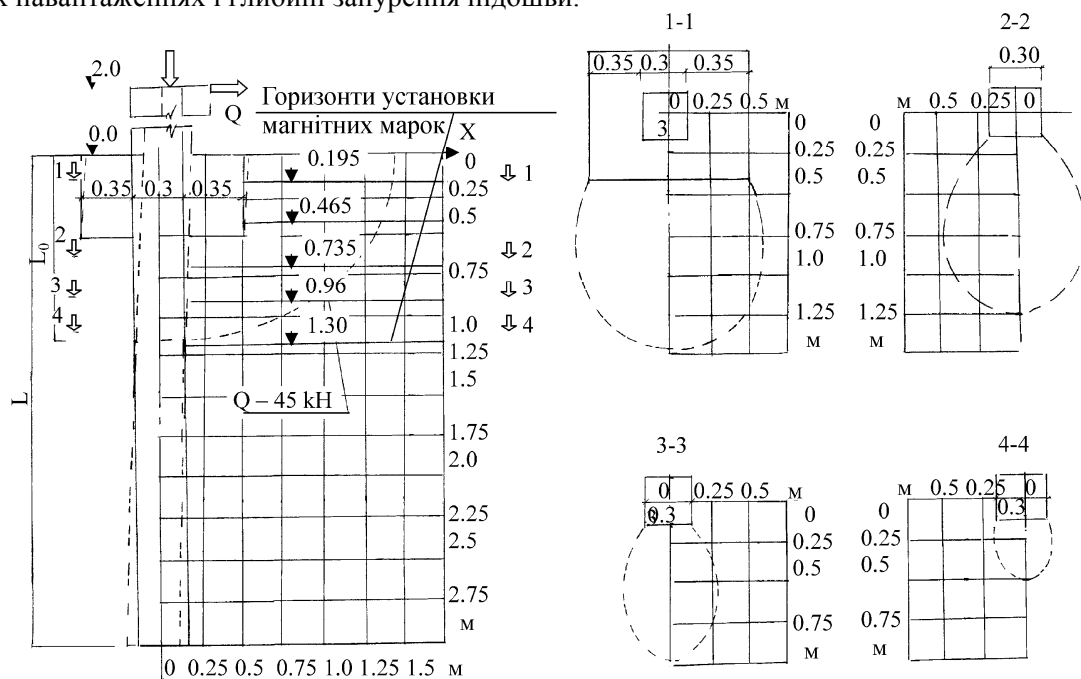


Рис. 3. Межі зон деформацій ґрунту в основі палі-колони С-2

Виконані дослідження дозволили встановити характер взаємодії палі-колони С-10 з ґрунтом основи і визначити величину контактного тиску при різних ступенях горизонтального і постійно діючого вертикального навантажень.

За весь період витримки палі під навантаженням максимальне відхилення в показниках датчиків склало до 10 кПа. Результати вимірювань свідчать про те, що процес стабілізації контактної тиску по всій довжині палі настає через 10-20 хвилин після прикладення кожного ступеня навантаження. Стабілізація горизонтальних переміщень стовбура палі в ґрунті проходила тільки через 3-5 діб. Останнє пояснюється тим, що процес перерозподілу тиску між частинками ґрунту основи протікає більш повільно і за часом вимірюється цілодобово, при цьому відбувається ущільнення ґрунту, яке спричиняє за собою переміщення стовбура палі-колони.

Тиск, що виникає від дії горизонтальних і моментних сил, по гранях підземної частини паль розподілений нерівномірно. З епюри (рис. 4) побудованої за результатами вимірів, видно, що максимальна величина знаходиться перед навантаженою лобовою і тильною гранню палі на відмітці відповідно – 0,6; – 2,0 м. Наявність плити збільшує площу передачі тиску, знижуючи його величину.

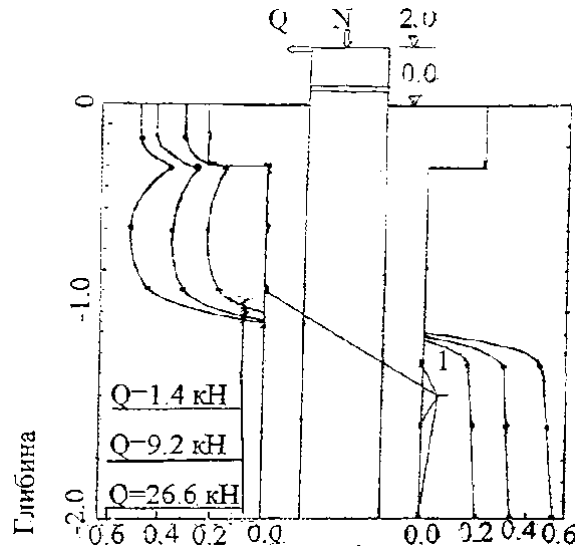


Рис. 4. Епюра контактної тиску ґрунту за наслідками виконаних вимірювань  
1 – датчики тиску

### Висновки

- Експериментально доведено, що збільшення глибини занурення підшви паль-колон підвищує їх опір дії горизонтальних навантажень. Збільшення відносного заглиблення підшви палі-колони з 6 до 10 d знизило горизонтальні переміщення на відмітці планування на 40 % при рівному навантаженні, однакових геометричних параметрах і фізико-механічних показниках властивостей ґрунтів.
- Експериментально визначений вплив розширення підземної частини стовбура на несучу здатність палі-колони. Збільшення в 3,3 рази розмірів поперечного перерізу палі-колони на відмітці планування знизило її горизонтальні переміщення в рівні денної поверхні в 3,0, а осідання 1,3 рази при рівних значеннях навантаження і глибини занурення підшви.
- За одержаними експериментальними даними виявлено істотний вплив розширення підземної частини стовбура палі на місцеположення точки нульових переміщень. Положення її для палі-колони з розширенням в 1,5 рази вище, ніж палі-колони без розширення за інших рівних умов.
- Дослідженнями процесів деформації ґрунтів натурними палями-колони встановлені межі об'ємів зон деформації. Об'єм зони деформації, що формується перед навантаженою гранню підземної частини палі-колони з розширенням, в 1,1 рази менше, ніж палі-колони без розширення при рівних навантаженнях і глибині занурення підшви.

### Список літератури

1. Тугаенко Ю. Ф. Экономичные фундаменты стоек эстакад без выемки грунта // Ю. Ф. Тугаенко, Т. Н. Барчукова / Эффективные фундаменты, сооружаемые без выемки грунта. Сб. тр. Респуб. науч.-техн. конф. – Полтава: изд-во ПИСИ 1991. – С. 148-151.
2. Барчукова Т. Н. Результаты исследований совместной работы свай-колонн с грунтом основания при горизонтальной нагрузке / Т. Н. Барчукова. – 3 Укр. науч.-тех. конф. по механике грунтов и фундаментостроению (17-19 сентября 1997 г.) Т.2 – Одесса: ОГАСА, 1997. – С. 372-373.
3. Барчукова Т. Н. Напряженно-деформируемое состояние системы “свая-колонна, грунт” при действии вертикальной, горизонтальной и моментной нагрузок // Т. Н. Барчукова. – Вісник ОДАБА. – № 4. – 2001. – С. 216-219.

**Барчукова Тетяна Миколаївна** – к.т.н., доцент кафедри основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва і архітектури.