

## СЕКЦІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 624.154.

Барчукова Тетяна Миколаївна  
Одеська державна академія будівництва та архітектури  
(Одеса)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ТОЧКИ НУЛЬОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ВЕРТИКАЛЬНО НАВАНТАЖУВАННИХ ПАЛЬ - КОЛОН ПРИ ДІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ І МОМЕНТНИХ ЗУСИЛЬ

**Анотація.** У статті наведені результати експериментальних досліджень сумісної роботи пал-колон з ґрунтом основи, які спрямовані на виявлення факторів, що впливають на місцезнаходження точки нульових переміщень при дії вертикальних, горизонтальних і моментних зусиль, виконаний аналіз досліджень.

**Ключові слова:** геологічна будова майданчиків, фундамент з пал-колон, експериментальні дослідження

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ТОЧКИ НУЛЕВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ СВАЙ – КОЛОНН ПРИ ДЕЙСТВИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И МОМЕНТНЫХ УСИЛИЙ

**Аннотация.** В статье приведены результаты экспериментальных исследований совместной работы свай-колонн с ґрунтом основания, которые направлены на выявление факторов, влияющих на местоположение точки нулевых перемещений при действии вертикальных, горизонтальных и моментных усилий, выполнен анализ исследований.

**Ключевые слова:** геологическое строение площадок, фундамент из свай - колон экспериментальные исследования.

Barchukova Tatiana Nikolaevna  
Odessa state academy of civil engineering and architecture  
(Odessa, Ukraine)

### INVESTIGATION OF FACTORS INFLUENCING THE LOCATION OF ZERO MOVEMENTS OF VERTICALLY LOADED PILES IN THE ACTION OF HORIZONTAL AND MOMENTOUS LOAD

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of the joint operation of piled columns with soil, which are aimed at identifying factors that affect the position of the point of zero displacement under the action of vertical, horizontal and moment forces,

**Key words:** geological structure of plots, foundation from short piles, experimental studies.

**Вступ.** На одній з будівельних ділянок теплотраси проведені

експериментальні дослідження роботи паль-колон з ґрунтом основи. Випробувано 5 паль. Дослідження спрямовані на виявлення факторів, що діють на місцезнаходження точки нульових переміщень (ТНП).

*Постановка проблеми у загальному вигляді і її практичне значення.* Місцезнаходження точки нульових переміщень впливає на вибір розрахункової схеми горизонтально навантаженого пальового фундаменту і зумовлює характер зміщення і епюр реактивного тиску тому, ці дослідження є актуальними.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Математичні методи розрахунку паль на горизонтальні навантаження можна розділити на дві групи в залежності від характеру деформацій паль у ґрунті. Перша група методів [1, 2, 3, 6] розроблена для паль, які під дією горизонтального навантаження повертаються в ґрунті без вигину. Руйнування системи «паля - ґрунти» відбувається за рахунок втрати стійкості ґрунтом основи. Розрахунок базується на положеннях теорії граничної рівноваги ґрунтів. Друга група методів [1, 4, 5, 7, 8] розроблена для паль, які під дією горизонтальних навантажень згинаються в ґрунті. Опір таких паль визначається міцністю матеріалу палі на вигин. Методи розрахунку другої групи, як правило, засновані на використанні моделі місцевих пружних деформацій. Випробування паль, у дослідженнях, проведені у натуральну величину для уточнення їх роботи з ґрунтом основи для математичних методів розрахунку першої групи.

*Мета роботи* – проведення експериментальних досліджень паль-колон з ґрунтом основи для виявлення при їх спільній роботі факторів що впливають на місцезнаходження точки нульових переміщень.

**Основна частина.** Експериментальні дослідження проведені на будівельному майданчику, рельєф якого спокійний. В геологічній будові майданчика брали участь техногенні, делювіальні, еолові та алювіальні відкладення.

Будова ділянки характеризується наступними інженерно-геологічними елементами: шар 1 - насипні ґрунти, представлені суглинками бурими і темно-бурими зі щебенем, будівельним і побутовим сміттям (0.1 м); шар 2 - суглинки, темно-бурі, макропористі (3.8 м); шар 3 - суглинки жовтувато-бурі, лесові, макропористі (4,0 м). Підземні води при вишукуваннях зустрінуті на глибині - 6,3 м. Фізико-механічні показники властивостей ґрунту наведені в табл. 1.

Довжина підземної частини випробуваних паль змінювалася від 2 до 3 м, розміри паль в рівні денної поверхні коливалися від 0.3 до 1.0 м, в вістрі від 0.3 до 0.8 м.

Випробування проводилися на поєднання вертикального, горизонтального навантаження. Горизонтальні зусилля прикладалися на деякій відстані від денної поверхні. Конструкція «паля - колона» працює як єдиний стрижень в своїй надземній і підземній частині. У спільній роботі паль з ґрунтом основи істотний вплив на їх роботу надає величина відстані точки прикладання горизонтального навантаження над поверхнею ґрунту.

## Фізико-механічні показники властивостей ґрунту

Найменування показника	Розмірність	Номер шару	
		11	111
Щільність часток ґрунту	г/см <sup>3</sup>	2.72	2.71
Щільність ґрунту	г/см <sup>3</sup>	1.69	2.03
Щільність ґрунту в сухому стані	г/см <sup>3</sup>	1.43	1.68
Природна вологість	д. о.	0.18	0.21
Вологість на границі розкочування		0.25	0.23
Вологість на границі текучості		0.40	0.39
Коефіцієнт пористості		0.90	0.61
Показник текучості		< 0	< 0
Кут внутрішнього тертя	град.	23	26
Питоме зчеплення	кПа	10	15
Модуль деформації	МПа	18/7	29
Відносне просідання при $\sigma_1=100$ $\sigma_2=200$ $\sigma_3=300$		0.008	-
		0.030	-
		0.044	-
Початковий тиск просідання	кН/м <sup>2</sup>	120	-

Тому в порівняльних оцінках результатів експериментальних досліджень роботи паль з ґрунтом основи за показник навантаження разом з горизонтальною силою « $Q$ » прийнято значення згинального моменту, яке на позначці нуля дорівнює  $M = Q H$ . У проведених дослідженнях горизонтальне навантаження прикладене на позначці  $H = 2,0$  м.

Способи установки паль-колон наступні - забивання паль в ґрунти проведено за допомогою копрового агрегату С-878 А на базі трактора трубоукладача Т-100 МБГП, молотом С-330, з масою ударної частини 25 кН.

Буріння свердловин для монтажу паль, виконано бурильно-крановою машиною.

Палі-колони, які випробувані на майданчику виконані з підвищеним відсотком армування.

Палі-колони С-2, С-3 С-4. С-5 виконані з розширеннями. Розширення паль С-2, С-3 - збільшення поперечного перерізу палі в рівні денної поверхні (у вигляді горизонтальної плити).

Схема анкерування та геометричні параметри випробуваних паль-колон наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

## Геометричні параметри випробуваних паль-колон

Марка паль-колон	Спосіб занурення паль	Перетин підшви паль-колон, м	Перетин в рівні денної поверхні, м	Глибина анкерування паль-колон м	Спосіб анкерування	Навантаження, кН	
						N кН	Q кН
С-1	Забивання 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;50
С-4	Монтаж паль-колон в свердловини	0.8	0.8	2	Зачеканка простору між свердловиною і палею бетоном	82	17
С-5		0.8	0.8	3		82	17;30; 45;50

### Способи передачі вертикального та горизонтального навантаження.

Вертикальне навантаження створювали шляхом укладання тарованого вантажу, на спеціальні платформи, змонтовані у верхній частині паль-колон. Завантаження проводилося рівномірно, одним ступенем на повну величину.

Після стабілізації осідання від вертикальних зусиль прикладали горизонтальне навантаження. Горизонтальні зусилля створювали за допомогою домкрату. Величина горизонтального зусилля вимірювалася динамометром, з ціною ділення 7.5 кг. Горизонтальні зусилля прикладали ступенями. Кожна ступінь приймали рівною 10-15 кН і дотримували до стабілізації горизонтальних переміщень.

За умовну величину стабілізації в проведених дослідженнях прийнято: швидкість збільшення осідання від вертикального навантаження не більше 0.1 мм на добу, горизонтальних переміщень 0.1 мм за останні дві години.

Максимальні навантаження приймали рівними максимальним проектним навантаженням, тому межу міцності паль, не було вичерпано. Максимальна величина вертикального навантаження склала 88 кН, горизонтального 50 кН.

Схема прикладення вертикального і горизонтального навантаження до палі - колони приведена на рис. 1.

**Вимірювання вертикальних і горизонтальних переміщень палі - колони, від дії вертикального, горизонтального та моментного навантаження.** Заміри осідання від вертикальних навантажень проводили за допомогою штангенглибиноміру, вимірювалася відстань від країв реперної балки жорстко пов'язаної з колоною і опорними стержнями. з точністю відліку 0.1 мм.

Горизонтальні переміщення колон на позначці анкерування і по висоті надфундаментної частини фіксували за допомогою системи повзункових прогиномірів, змонтованих на реперній стійці. Переміщення визначали по висоті з інтервалом від 0.12 до 2.0 м.

Горизонтальні переміщення підземної частини паль вимірювали

штангенглибиноміром від реперної системи розташованої в шурфу, що знаходився на відстані 1.3 – 2.0 м від навантаженої грані палі. Стінки шурфу закріплювали залізобетонними кільцями, товщиною 0.1 м, діаметром 1.5 м.

З шурфу в сторону палі в її вертикальній осьовій площині пробурені горизонтальні свердловини діаметром 2.5 мм з кроком по вертикалі 200 - 250 мм.

У свердловини закладали глибинні магнітні марки всередині, яких монтували захисні трубки. Один кінець трубки доводився до грані палі, впираючись в неї, інший на 1 см виступав з свердловини.

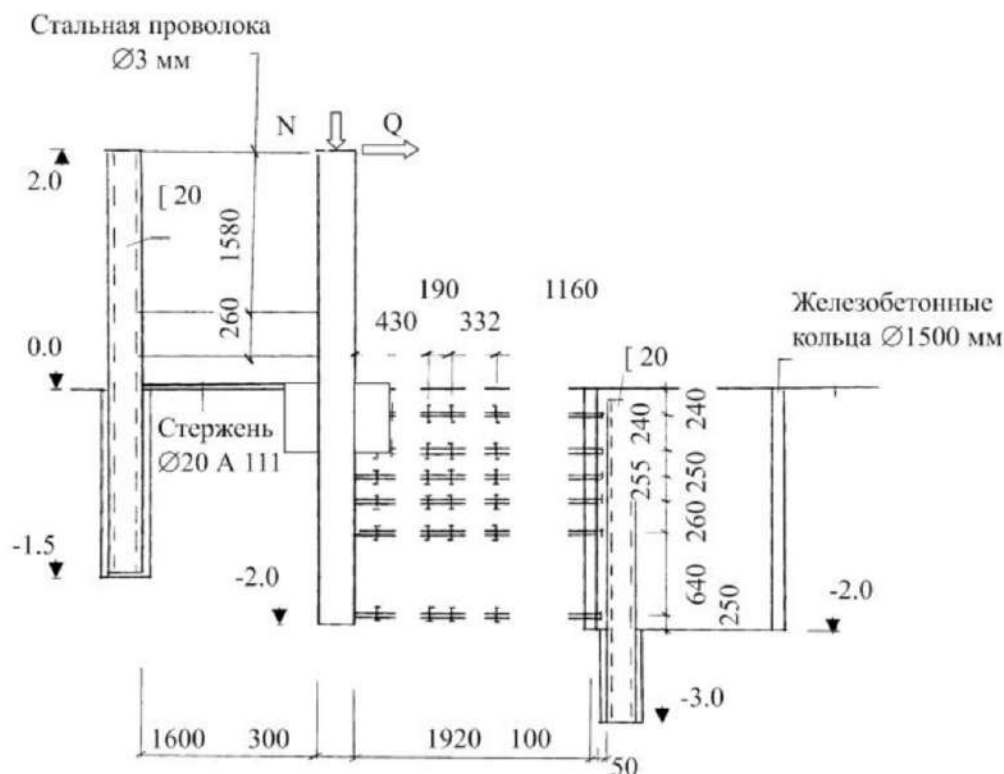


Рис. 1. Схема прикладення вертикального і горизонтального навантаження до палі - колони та закладання магнітних марок

У зазор між свердловиною і трубкою монтувався сальник, що забезпечував вільне переміщення трубки. Кожна трубка з боку шурфу кріпилася трьома пружинами. Натяг пружини забезпечував щільне примикання трубки до граней палі під час всього періоду випробувань.

Горизонтальні переміщення колони заміряли по переміщенням трубок штангенглибиноміром з точністю відліку 0.1 мм.

Переміщення ґрунту перед гранню палі вимірювали глибинними магнітними марками і спеціальним приладом.

Марки закладали в горизонтальні свердловини, пробурені в стінці шурфу двома рядами по вісі колони з кроком по вертикалі 200 ... 250 мм, по горизонталі 180 ... 300 мм, на глибину до 2 м і по вісі, що знаходилась на відстані 290 мм від центру колони.

Переміщення марок щодо реперної системи, встановленої в шурфу, фіксували приладом, з точністю відліку до 0,01 мм.

Центральними і бічними марками визначався характер розвитку обсягу зони деформації перед завантаженою гранню від кожного ступеня зусиль. Марки встановлювали в плані і по глибині з таким розрахунком, щоб частина

їх, контрольні, які монтували на реперній стійці, у шурфу, залишалися нерухомими в процесі всього випробування. Характер формування зони і її кінцева межа визначалися по послідовності включення марок у роботу. Інтерполірую дані переміщення марок, знаходили точки з нульовими переміщеннями, які належали межі зони деформації.

**Результати досліджень.** Момент і горизонтальні сили повертають підземну частину палі - колони навколо деякого центру обертання – точки нульових переміщень. В результаті ґрунти під навантаженої бічною гранню ущільнюються. Наслідком ущільнення є переміщення палі біля поверхні в сторону дії сил, а підосви в зворотному напрямку.

Поворот зменшує площу контакту бічної поверхні підземної частини палі з ґрунтом, знижуючи величину опору зрушенню. Зниження сил тертя викликає додаткове осідання палі.

Глибину місцезнаходження точки нульових переміщень визначали дослідним шляхом за результатами безпосередніх вимірів переміщень точок палі, а також за переміщеннями ґрунту, як місце перетину межі зони деформації з поздовжньою віссю палі.

Наявність точки нульових переміщень обумовлена характером зовнішнього навантаження прикладеного до фундаменту, що викликає його поворот.

Чим менше навантаження, що прикладене до палі при інших рівних умовах, тим вище місцезнаходження ТНП.

Чим вище місцезнаходження точки нульових переміщень на підземній частині палі, тим менше горизонтальні переміщення палі на позначці денної поверхні.

Істотний вплив на розташування точки нульових переміщень надають геометричні параметри палі і спосіб їх влаштування в ґрунті (рис. 2).

Наявність розширення підземної частини палі впливає на глибину місцезнаходження точки нульових переміщень. Положення її для палі-колон з розширенням в 1,5 рази вище, ніж для палі-колони без розширення при інших рівних умовах.

Аналіз графіків (рис.2) зміни величини відносного заглиблення точки нульових переміщень від навантаження, які діють на палі - колони показав що глибина точки нульових переміщень в проведених дослідженнях не є постійною і змінюється з підвищенням навантаження в межах 0,4 ... 0,65 м для палі-колон С- 2 ... С - 5, 068 ... 0,95 м для палі - колони С - 1 від довжини підземної частини палі.

### **Висновки:**

1. Експериментами проведеними на натурних фундаментах встановлено, що місцезнаходження точки нульових переміщень не є величиною постійною. На її глибину впливає геометричні параметри підземної частини палі-колони, величина зовнішнього навантаження, властивості ґрунтів.

2. Аналіз графіків зміни величини відносного заглиблення точки нульових переміщень від навантаження показав, що глибина точки нульових переміщень змінюється з підвищенням навантаження в межах 0,4 ... 0,68 м для палі-колон С- 3 ... С - 5, 068 ... 0,95 м для палі - колони С - 1 від довжини підземної частини палі

3. За отриманими експериментальними даними, виявлено, істотний вплив розширення підземної частини палі на місцезнаходження точки

нульових переміщень. Положення її для паль - колон з розширенням в 1,5 рази вище, ніж паль-колон без розширення при інших рівних умовах.

4. За даними експериментальних досліджень встановлено – чим вище місце розташування точки нульових переміщень на підземній частині палі, тим менше горизонтальні переміщення палі на позначці денної поверхні.

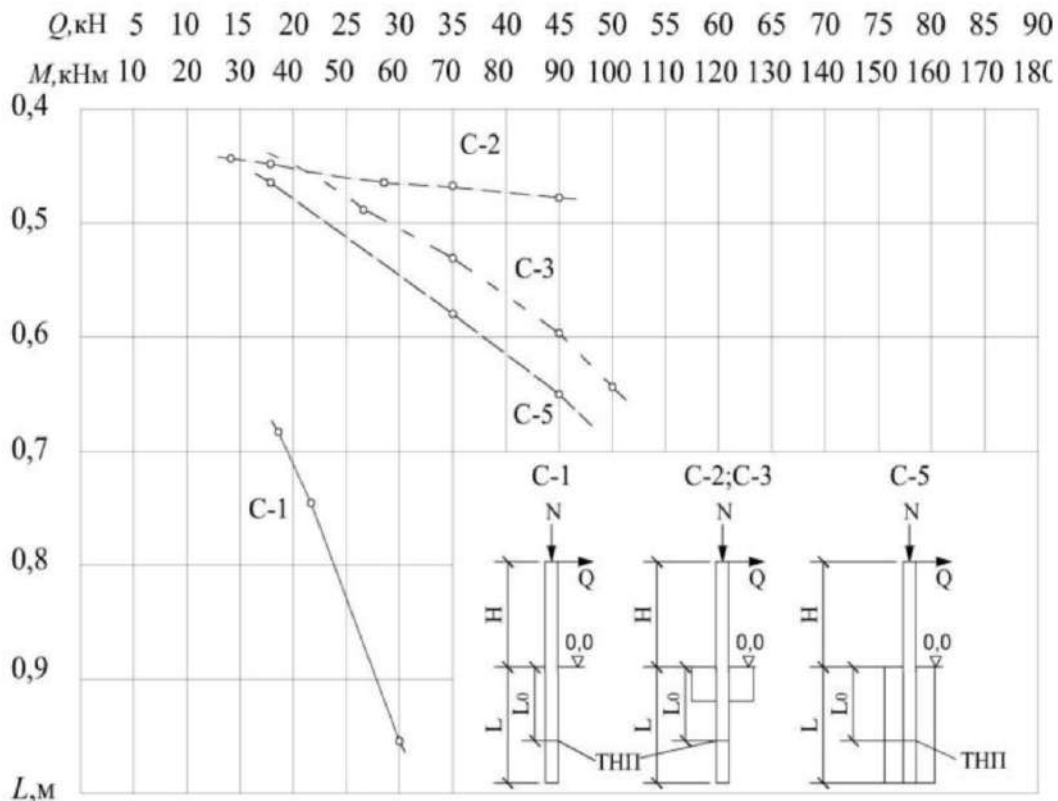


Рис. 2. Відносне розташування точки нульового переміщення паль-колон С - 1.....С -5 в залежності від навантаження

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДБН В.2.1-10-2009. Зміна №1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 57 с.
2. Григорян А. А., Лекумович Г. С., Лучковский И. Я. К расчету свай на горизонтальную нагрузку в просадочных грунтах. Основания, фундаменты и механика грунтов, 1981. – №3. – С. 18
3. Лучковский И. Я., Лекумович Г.С. К вопросу о расчете свай на горизонтальную нагрузку в связном грунте // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1971. – №3. – С. 17.
4. Бахолдин Б. В., Труфанова Е. В. Сопротивление свай горизонтальным нагрузкам // Основания и фундаменты, Москва:, 2010. – С. 4-8.
5. Завриев К. С., Крюков Е. П., Шпиро Г. С., Исследование несущей способности фундаментов опор контактной сети. – Труды ВНИИСТ. – Москва, 1960. – Вып. 39. – С. 23-31.
6. Terzaghi, K. (1955). Evaluation of coefficients of subgrade reaction. Geotechnique, 5(4), 297-326.
7. Davies, T. G. and Budhu, M. (1986). Non-linear analysis of laterally loaded piles in heavily over consolidated clays. Geotechnique, 36(4), 527-538.

8. Poulos, H. G., Carter, J. P., and Small, J. C. (2001). Foundations and retaining structures- research and practice. Proceedings of 15th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Istanbul, Turkey, A. A. Balkema, Rotterdam, 2527-2606.