

**ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КУЩОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ПІД ОПОРИ МОСТІВ**

О Козачок Л.Д., Фабрика Ю.М., 2010

Описано методику та результати експериментально-теоретичного дослідження сумісної роботи кущів висячих паль з ґрунтами основи у разі передавання на них вертикального навантаження. Звертається увага і аналізуються чинники підвищення несучої здатності кущових паль порівняно з одиничними. Пропонується методика визначення підвищеної несучої здатності кущових паль під час розрахунків фундаментів під опори мостів.

A method and results of experimental and theoretical research of compatible work of floating piles with soils of basis clusters is described at a transmission of the vertical loading on soil. The factors of increase of bearing capabilities of cluster piles in comparing to solitary are analysed. The method of determination of the enhanceable bearing capabilities of piles is offered at foundations calculation under supports of bridges.

Постановка проблеми

Найчастіше мости споруджують у місцях переходу трас доріг через річкові заплави зі складними ґрунтовими, гідрогеологічними і гідрологічними умовами. Важливою прикметною особливістю цих умов є залягання зверху слабких водонасичених ґрунтів, що належать до четвертинних алювіальних відкладів з недостатніми можливостями сприймати навантаження, яке передається вертикальними опорами мостів [3].

Ця особливість змушує застосовувати під опори мостів залізобетонні кущові фундаменти з тим, щоб палі цих фундаментів прорізали товщину слабких ґрунтів і заглибилися нижніми кінцями в нашарування більш щільних і надійних для сприйняття навантаження ґрунтів [2]. Як правило, кущові фундаменти конструктивно складаються з групи паль та ростверка, який влаштовують зверху по вінцях паль для забезпечення їх сумісної роботи з передання навантаження на ґрунти основи. У сучасній практиці будівництва залізобетонні кущові фундаменти під опори мостів часто виконують у збірно-монолітному варіанті, а саме, ростверки влаштовують монолітними, а палі збірними, тобто їх як залізобетонний заводський виріб заглиблюють у ґрунт забиванням чи вібропогруженням [3].

Кількість паль у кушах залежить від їх можливостей надійно передати на ґрунти осьове розрахункове навантаження N , що сприймається ними від ростверка. Визначаючи кількість паль, за рекомендаціями норм [4], приймають

$$N \leq \frac{F_d}{\gamma_k}, \quad (1)$$

де F_d – розрахункова несуча здатність ґрунту основи одиничної палі, яка прирівнюється до несучої здатності аналогічної за конструкцією кущової палі; γ_k – коефіцієнт надійності, значення якого призначають залежно від висотного положення ростверка щодо поверхні землі, умови взаємодії палі з ґрунтами основи, їх кількості у фундаменті, а також способу виготовлення і заглиблення в ґрунти.

Варто звернути увагу на те, що в публікаціях дослідників групової роботи висячих паль у фундаментах [1, 5] вказується на істотні відмінності взаємодії з ґрунтами основи одиничних і

кущових паль, зокрема, це стосується і несучої здатності F_d , які було б доцільно врахувати під час проектування мостових опор.

Явище групової роботи опосередковано враховується в нормах з проектування пальових фундаментів [4], в яких, зокрема, рекомендується приймати коефіцієнт надійності γ_k у формулі (1) залежно від кількості паль у кущових фундаментах мостових опор (таблиця).

Значення коефіцієнта надійності γ_k

Кількість паль у фундаменті	Коефіцієнт надійності γ_k
1-5	1,75
6-10	1,65
11-20	1,55
≥ 21	1,40

З порівняння даних таблиці зрозуміло, що зі збільшенням кількості паль у фундаментах мостових опор значення коефіцієнта γ_k зменшується від 1,75 до 1,40, (тобто на 25%), що дозволяє підвищити вертикальне навантаження на палі у фундаменті та в необхідних випадках скоротити їх кількість і зменшити об'єм.

Разом з тим у таблиці недостатньою мірою враховуються ґрунтові умови, співвідношення частин вертикального навантаження, що передаються палею на ґрунти через бічну поверхню і нижній кінець, відстань між палями, а це знижує точність розрахунків з визначення несучої здатності кущових паль з урахуванням їх групової роботи.

Зважаючи на це, в пропонованій статті описуються результати проведеного експериментально-теоретичного дослідження групової роботи висячих паль у кущах під час передавання на них вертикального навантаження. Завдання дослідження полягало ось у чому:

- експериментальне дослідження групової роботи паль під час випробування моделей кущів у лотках;
- визначення чинників, що впливають на підвищення несучої здатності кущових паль у разі близького їх розміщення в плані;
- розроблення рекомендацій для визначення несучої здатності паль з урахуванням їх групової роботи.

Для поглибленого визначення особливостей групової роботи висячих паль у кущах було виконано експериментальне дослідження в лабораторних умовах на моделях у піщаних ґрунтах. Завдання дослідження полягали у такому:

- випробування вертикальним статичним навантаженням моделей одиничних паль і моделей кущів паль;
- зіставлення несучої здатності одиничних паль і кущових паль залежно від відстані між ними та їх кількості у фундаменті;
- визначення чинників, що впливають на збільшення несучої здатності кущових паль.

Випробування відбувалися у порожньому бездонному залізобетонному лотку у вигляді колодязя внутрішнім діаметром 200 см і висотою 300 см (рис.1, 2). Розміри лотка підбирали з тим, щоб його жорсткі стінки не впливали на сумісну роботу моделей з ґрунтами основи. Моделі паль виготовляли зі сталевих труб зовнішнім діаметром $d=50$ мм, завдовжки $l_p=1000$ мм. Конструктивно модель виконували у вигляді палі-штампа, що дозволило визначати опір паль як загалом, так і окремо по бічній поверхні і на нижньому кінці. У лотку випробовували такі моделі фундаментів (усі з високим ростверком): одинична паля; куц з чотирьох паль з відстанню між їх осями $l_s=3d$, $4,25d$, $6d$, куц з дев'яти паль з $l_s=3d$.

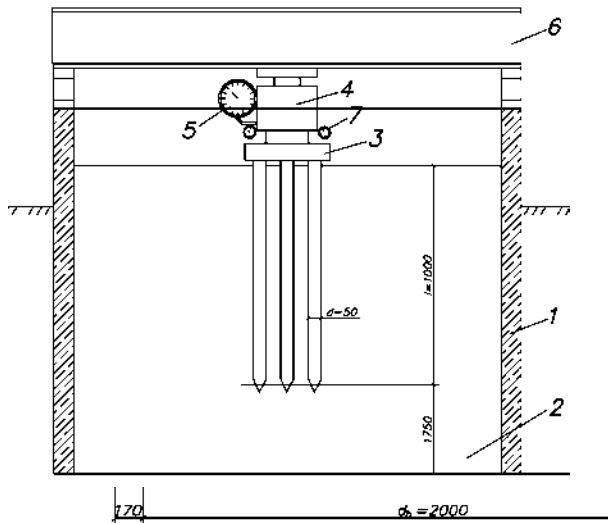


Рис. 1. Вертикальний розріз залізобетонного лотка для випробування моделі куцця паль:
 1 – стінка лотка; 2 – ґрунт основи; 3 – модель куцця;
 4 – гідравлічний домкрат;
 5 – манометр; 6 – упорна балка; 7 – індикатори



Рис. 2. Загальний вигляд лотка для випробувань моделей куцців висячих паль

Основою для моделей слугував середньозернистий кварцовий пісок ($\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$; $\rho = 1,71 \text{ г/см}^3$; $w=0,04$; $n=0,38$), що штучно укладався в лоток з пошаровим ущільненням. Попередні дослідження дали змогу визначити, що для влаштування однорідної за щільністю основи товщина шару у разі заповнення піском лотка має бути 24 см, а ущільнення поверхневим вібратором тривати три хвилини. Після заповнення лотка до передбаченого верхнього рівня в строго фіксованих місцях через шаблон заглиблювалися важком масою 25 кг моделі паль, відтак голови їх об'єднувалися ростверком, який конструктивно виконувався з двох посиленних ребрами жорсткості сталевих пластин загальною товщиною 28 мм. Для релаксації напружень у ґрунті давалася витримка впродовж двох діб.

Вертикальне навантаження на моделі, що створювалося гідравлічним домкратом, зростало висхідними ступенями, величину яких приймали 0,1 частки від очікуваного граничного навантаження, досягнутого в попередньо проведених випробуваннях. Кожний наступний ступінь навантаження прикладали після умовної стабілізації осідання від вже діючого навантаження. За момент умовної стабілізації приймали осідання, яке за 10 хв спостережень не перевищувало 0,01мм при дії сталого навантаження.

За даними випробування викреслювалися графіки залежності $s = f(F_v)$, де s – сумісне осідання основи і моделі фундаменту; F_v – вертикальне навантаження на ростверк моделі фундаменту.

Результати проведеного експериментального дослідження вказують на своєрідний характер взаємодії кущових паль з ґрунтами основи у разі передавання на них вертикального навантаження F_v , причому характер зазначеної взаємодії не є постійним, він змінюється по мірі зростання осідання s . Позитивною ознакою дослідження є те, що за його даними можна зіставити залежності $s = f(F_v)$ як одиничних, так і групових висячих паль і порівняти їх. Аналіз таких зіставлень дозволяє зробити такі висновки про особливості групової роботи паль під час зміни деформативного стану основи кущових фундаментів.

На рис.3 викреслені чотири графіки залежностей $s = f(F_v)$, а саме: для суми чотирьох випробуваних як одиничних висячих паль (графік *г*) і для кущів з чотирьох паль з відстанню між їх осями $6d$ (графік *а*), $4,25d$ (графік *б*) і $3d$ (графік *в*). Зіставлення графіків свідчить про те, що

коли сума несучих здатностей чотирьох висячих паль по ґрунту становить 60 кН (100%), то несуча здатність куща з чотирьох паль при $l_s = 6d$ дорівнює 65 кН (108%), при $l_s = 4,25d$ – 71,7кН (116%), при $l_s = 3d$ – 78кН (123%). Отже, результати випробувань вказують на істотне підвищення несучої здатності висячих паль під час їх роботи у складі кущів, до того ж рівень підвищення залежить від відстані між осями паль l_s . Але, як видно з рис. 3, зазначене співвідношення не є сталим, воно помітно змінюється по мірі зростання осідання, наведені вище дані щодо несучої здатності відповідають досягнутому під час випробування осіданню $s=10$ мм.

Таку саму закономірність підтверджено під час випробування куща з дев'яти паль з відстанню між їх осями $l_s = 3d$ на дію вертикального навантаження (рис.3). Несуча здатність дев'яти кущових паль при їх сумісному осіданні $s=10$ мм (графік *a*) дорівнює 180 кН, що перевищує суму несучих здатностей дев'яти випробуваних як одиничні палі на 45 кН, тобто на 25%. Так як моделі паль у кущі конструктивно були виконані у вигляді палі-штампа, під час проведення випробувань стало можливим вивчити особливості передавання вертикального навантаження окремо через бічні поверхні та через нижні кінці. Для цього навантаження ступінчасто передавалося спочатку через нижні кінці до тих пір, поки переміщення їх донизу не досягне 10мм., після чого для передавання навантаження залучалися бічні поверхні паль. З графіка *г* видно, що тertia на бічних поверхнях паль досягає найбільшого значення при $s=2$ мм, у той час як опір основи нижніх кінців відчутно зростає до $s=4$ мм. і продовжував збільшуватися, хоч не так інтенсивно, до досягнутого $s=10$ мм., коли він становив 60% усього прикладеного навантаження (графік *в*, викреслений суцільною лінією). Треба зазначити, що для одних і тих самих значень осідання сума зусиль тertia F_f і опору по нижніх кінцях F_b не збігалася зі значенням прикладеного вертикального навантаження F_v , причому при $s=10$ мм $F_v = 1,2(F_f + F_b)$.

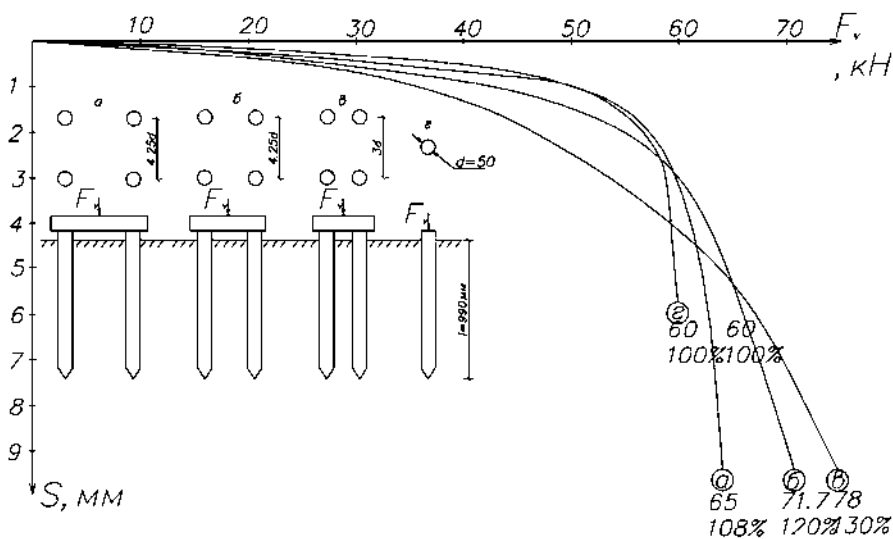


Рис. 3. Графіки залежності $s = f(F_v)$:
a – для куща з 4 паль з $l_s = 6d$; *б* – для куща з 4 паль з $l_s = 4,25d$; *в* – для куща з 4 паль з $l_s = 3d$;
г – для суми чотирьох одиничних паль

Цей факт свідчить про те, що у разі сумісного передавання навантаження через бічні поверхні та нижні кінці проявляється їх взаємний вплив, який підвищує опір паль при збільшених значеннях осідання, тобто при $s > 2$ мм. Навпаки, при $s < 2$ мм зазначена сума є меншою F_v . Внаслідок проведеного аналізу механізм такого впливу уявляється таким: вертикальний тиск, що розвивається від передачі зусиль тertia по бічній поверхні паль, слугує привантаженням для основи нижніх кінців, що підвищує стійкість ґрунтів при збільшених значеннях осідання. Зважаючи на це, при коригуючи графічні залежності $s = f(F_v)$, логічніше залишати незмінною криву *г*, викреслену за даними передавання зусиль тertia через бічні поверхні, а криву *б* для зусиль, що передаються через нижні кінці, отримати як різницю між кривими *a* і *г*, як це зроблено на рис. 4. Викреслена тут крива *б* відображає фактичну залежність опору F_b від осідання s , а крива *в* – відкоректовану.

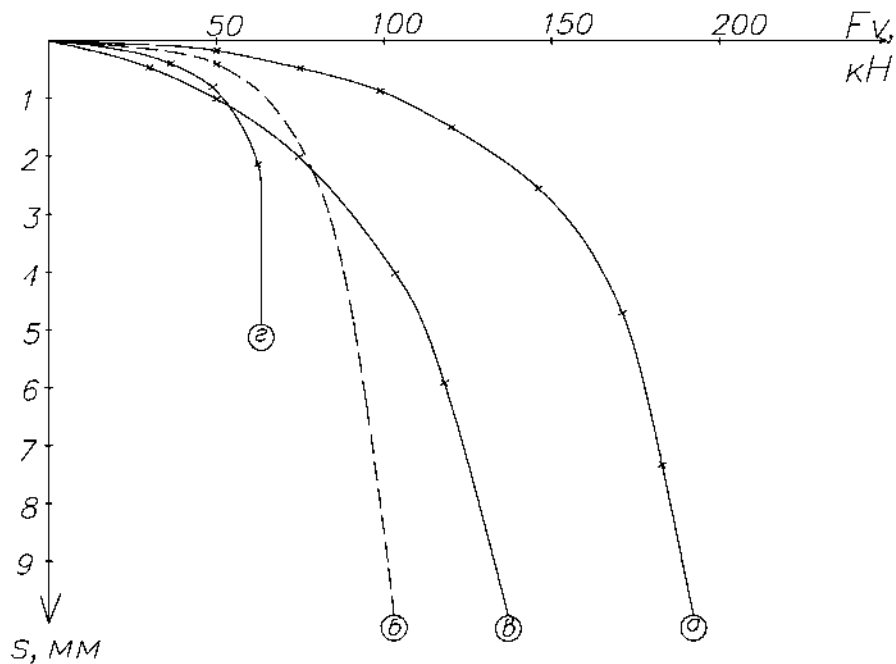


Рис. 4. Графіки залежності $s = f(F_v)$:

a – для куца з 9 палей; *б* – для нижніх кінців палей без урахування привантаження; *в* – для нижніх кінців з урахуванням привантаження; *г* – для бічних поверхонь

Описаний факт впливу підвищення опору ґрунту F_b внаслідок дії привантаження вертикальним тиском p , що розвивається в межах горизонтальної площини, яка проходить через кінці палей, від передавання зусиль тертя F_f , варто враховувати у разі визначення несучої здатності кушових палей F_d . Відомо, що за нормами проектування [4] рекомендується обчислювати значення несучої здатності висячих палей за формулою

$$F_d = \gamma_c (g_{cR} RA + U \sum g_{cf} f_i h_i) \quad (2)$$

де γ_c – коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті; R – розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем; A – площа поперечного перерізу палі; U – зовнішній периметр поперечного перерізу палі; f_i – розрахунковий опір i -го шару ґрунту, що має контакт з бічною поверхнею палі; h_i – глибина i -го шару ґрунту; γ_{cR} і γ_{cf} – коефіцієнти умов роботи ґрунтів відповідно під нижнім кінцем і на бічній поверхні палі.

Значення вертикального тиску внаслідок дії привантаження можна знайти за формулою

$$p = \frac{2l_s F_f}{V} \left(\frac{m}{2} - \frac{2+m^2}{2\sqrt{1+m^2}} + 1 \right), \quad (3)$$

де l_s – відстань між осями палей у фундаменті; F_f – зусилля тертя ґрунту, що розвивається на бічній поверхні палі; V – об'єм ґрунту, що припадає на одну палю і дорівнює:

$$V = (l_s^2 - A_p) l_p, \quad (4)$$

де A_p – площа поперечного перерізу палі; l_p – довжина тієї частини палі, що має контакт з навколишнім ґрунтом; m – умовна висота об'єму, що дорівнює $\frac{l_p}{l_s}$.

Обчисливши p , можна уточнити збільшене значення опору ґрунту під нижніми кінцями палей R . Його беруть з таблиці [4] на умовній глибині d , причому

$$d = d_g + l_p + h_l, \quad (5)$$

де d_g – глибина закладення ростверка від природного рівня землі; l_p – довжина тієї частини палі, що має контакт з навколишнім ґрунтом; h_l – умовна глибина, еквівалентна дії навантаження від реалізації зусиль тертя по бічній поверхні палі, причому

$$h_l = \frac{pl_p}{\sum g_i h_i}, \quad (6)$$

тут p – вертикальний тиск, визначений за формулою (3); h_i – грубизна i -х шарів у межах довжини палі l_p ; g_i – питома вага ґрунту i -го шару.

У розробленому методі під час визначення розрахункового опору ґрунтів R додатково враховується відстань між палями, їх розміри, значення зусилля тертя на бічній поверхні. Застосування запропонованої методики дозволяє здебільшого збільшити несучу здатність кушових паль, внаслідок зменшується їх кількість і об'єм у фундаментах під мостові опори.

Висновки. 1. Групова робота сприяє підвищенню стійкості ґрунтів основи кушових фундаментів порівняно з сумарною стійкістю ґрунтів основ ідентичних висячих паль, що випробовувалися як одиничні в аналогічних ґрунтових умовах і за аналогічною методикою.

2. Рівень підвищення стійкості основ кушових фундаментів істотно залежить від кількості висячих паль у фундаменті, відстані між осями, сили тертя ґрунту по бічній поверхні.

3. Врахування чинників, що підвищують несучу здатність висячих паль під час проектування кушових фундаментів дозволяє отримати певний техніко-економічний ефект. Пропонується, зокрема, розрахунковий опір ґрунтів під нижніми кінцями кушових паль визначати з урахуванням привантаження від додаткового вертикального тиску, що розвивається в площині на рівні нижніх кінців.

4. Під час застосування запропонованої методики з визначення підвищеної несучої здатності кушових фундаментів додатково враховуються такі чинники, як кількість паль, відстань між ними, метод їх улаштування, ґрунтові умови.

1. Козачок Л.Д., Цымбал С.И. Несущая способность забивных свай при их совместной работе в составе кустов // Респ. межвед. науч.-техн. сб. тр. “Основания и фундаменты”. – К.: Будівельник, 1988. – Вып.21. – С.24–27.

2. Луга А.А., Бахолдин Б.В., Ободовский А.А. О повышении сопротивлений плотных песчаных грунтов под забивными спаями // Транспортное строительство, 1976. – №3, – С.44–45.

3. Свайные фундаменты / Глотов Н.М. и др. – М.: Транспорт, 1975. – 432с.

4. СНиП 2.2.03.-85. Свайные фундаменты / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.

5. Фадеев А.Б., Девальтовский Е.Э. Кустовой эффект при работе свайных фундаментов на вертикальную нагрузку // Сб. науч. тр. “Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении”. – М.:Стройздат, 1987. – Том 2. – С.33–34.