

УДК 624.15

¹ С. В. Романов, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0009-0002-3537-3045>;² М. М. Козаченко, ст.н.співроб.^{1, 2} ДП "Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С.Балицького", м. Київ

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВДАВЛЮВАННЯ ПАЛЬ У РІЗНИХ ҐРУНТОВИХ УМОВАХ

Анотація. На основі використання досвіду ДП НДІБВ та ТОВ фірма «ТЕХКОМП» з розроблення та застосування технології вдавлювання паль та шпунту при будівництві нових та реконструкції існуючих будівель в статті розглянуті питання ефективності технології вдавлювання паль в різних ґрунтових умовах. Метою даної статті є встановлення ефективної області застосування методу вдавлювання паль при влаштуванні або при підсиленні фундаментів будівель.

Для досягнення вказаної мети були: оброблені і узагальнені результати виконаних в минулі роки робіт з вдавлювання паль; проаналізовано аналітичні залежності (1) і (2) між основними параметрами процесу вдавлювання паль, порушення яких робить вдавлювання паль неможливим або недоцільним; на основі статистичної обробки результатів випробувань дослідних вдавлюваних паль уточнені і приведені значення коефіцієнта зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавлюваних паль у часі K_{gr} , величини яких змінюються в різних ґрунтових умовах від 0,6 до 1,5.

З залежності (2) випливає що чим більш значення коефіцієнта зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавлюваних паль у часі K_{gr} , тим менш необхідне вдавлююче зусилля для забезпечення однієї і тієї ж несучої здатності паль F_d . Наприклад, для забезпечення несучої здатності палі 1000 кН потрібні такі значення зусилля вдавлювання $N_{вд}$: при $K_{gr}=1,5$ $N_{вд}=800$ кН; при $K_{gr}=1,0$ $N_{вд}=1200$ кН; при $K_{gr}=0,6$ $N_{вд}=2000$ кН.

Це означає, що для досягнення одного і того ж ефекту при вдавлюванні палі в ґрунтових умовах, де $K_{gr}=0,6$ потрібне зусилля вдавлювання в 2,5 рази більш, ніж у ґрунтових умовах, де $K_{gr}=1,5$. Виходячи з викладеного, усі ґрунтові умови, представлені кількома групами, по ефективності застосування технології вдавлювання паль запропоновано класифікувати (ґрунтові умови) на три наступні групи: I група – «високоєфективна» - ґрунтові умови, що мають $K_{gr} 1,1$; II група – «ефективна» - ґрунтові умови, що мають $0,9 < K_{gr} < 1,1$; III група – «не ефективна» - ґрунтові умови, що мають $K_{gr} < 0,9$.

В статті наведені наступні висновки.

Область застосування методу вдавлювання паль по ґрунтовим умовам характеризується наявністю трьох груп умов: група I – вискоєфективні умови; група II – ефективні умови; група III – не ефективні умови.

Ґрунтові умови I групи, в яких метод вдавлювання паль має високу ефективність представлені зверху до кровлі несучого шару пілувато-глинистими ґрунтами з показником консистенції $IL > 0,25$ і мають значення коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунту навколо вдавлюваної палі у часі K_{gr} не менш ніж 1,10 (дивись п.п. 1,2,3,4 таблиці 1).

Ґрунтові умови II групи, в яких метод вдавлювання паль достатньо ефективен, відрізняються від умов групи I тім що в прорізаємих палями пілувато-глинистих ґрунтах з $IL > 0,25$ можуть бути щільні прошарки пісчаних або пілувато-глинистих ґрунтів і мають значення коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавлюваної палі $0,9 < K_{gr} < 1,1$ (див.п.п. 5,6,7 таблиці 1). В таких умовах вдавлювання паль, як правило, виконують через лідерні свердловини, або з використанням ефекту тиксотропії ґрунту бурінням свердловин без вилучення ґрунту. Це погіршує порівняно з ґрунтовими умовами I групи такі показники як вартість, продуктивність та строки виконання робіт.

Ґрунтові умови III групи, представлені пісками середньої щільності або щільними зі значенням коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунту навколо вдавлюваної палі $K_{gr} < 0,9$ необхідно виключити із області застосування технології вдавлювання паль.

Ключові слова. Технологія вдавлювання, паля, ґрунтові умови, ефективність, коефіцієнт зміна, несуча здатність, ґрунт.

Вступ

Протягом понад 35 років Науково-дослідним інститутом будівельного виробництва Мінрегіону України (ДП НДІБВ) спільно з ТОВ фірма «ТЕХКОМП» ведуться дослідження та відпрацювання в натурних умовах на експериментальних та дослідних зразках сваєвдавлюючого обладнання технології занурення паль та шпунту вдавлюванням на реальних об'єктах будівництва нових і реконструкції існуючих будівель та споруд.

На основі узагальнення нашого досвіду нижче розглянуті питання ефективності методу вдавлювання паль у різних ґрунтових умовах.

Предмет і методи досліджень

Предметом досліджень даної статті є ефективність технології вдавлювання паль у різних ґрунтових умовах будівельних майданчиків при влаштуванні фундаментів при будівництві нових об'єктів та при підсиленні фундаментів реконструюваних будівель.

вель. Дослідження виконані на основі узагальнення багаторічного досвіду з використанням методів експериментальних досліджень і випробувань в натурних умовах, аналітичних, статистичних та інших.

Мета досліджень

Метою досліджень даної статті є встановлення ефективної області застосування методу вдавлювання паль по ґрунтовим умовам при влаштуванні фундаментів нових об'єктів будівництва або при підсиленні фундаментів існуючих будівель.

Виклад основного матеріалу

При застосуванні технології занурення паль методом вдавлювання одночасно повинні виконуватись наступні залежності

$$R_{ств} \geq N_{вд} \geq R_{гр} \quad (1)$$

$$N_{вд} \cdot \frac{K_{гр}}{\gamma_k} \geq F_d \quad (2)$$

де $R_{ств}$ - поздовжнє стискує зусилля на стовбур палі з умови міцності матеріалу палі, що допускається в процесі вдавлювання, кН;

$N_{вд}$ - зусилля вдавлювання, що задовольняє умові (1), кН;

$R_{гр}$ - опір ґрунту вдавлюванню палі проектних розмірів, кН;

$K_{гр}$ - коефіцієнт, що враховує зміну несучої здатності ґрунтів навколо палі у часі;

γ_k - коефіцієнт надійності, що приймається рівним 1, 2;

F_d - розрахункова здатність однієї вдавненої палі, прийнята в проекті, кН. Ліва частина залежності (1) означає, що стовбур палі здатний витримати вдавлююче зусилля $N_{вд}$. Порухення цієї умови робить процес вдавлювання неможливим: паля руйнуватиметься у процесі вдавлювання.

Відповідно до Зміни №1 до ДБН В.2.1-10-2009 [1] значення $R_{ств}$ визначається розрахунком за міцністю матеріалу відповідно до вимог ДБН В.2.6-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції» [2], розглядаючи при цьому палю як стрижень, жорстко затиснений у ґрунті на глибині L_1 і при цьому повинен враховуватися випадковий ексцентриситет не менше $1/600$ довжини елемента та $1/30$ від висоти поперечного перерізу палі. Більш детально питання розрахунку величини $R_{ств}$ при вдавлюванні залізобетонних паль з передачею зусилля, що вдавлює, через голову або через бічні грані (захопленням) роз-

Таблиця 1.

Значення коефіцієнта зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавненої палі у часі $K_{гр}$.

| №№ п/п | ґрунтові умови будмайданчика | | К _{гр} |
|-----------|---|--|-----------------|
| | ґрунти, що прорізають палями | ґрунт, в який заглиблені нижні кінці палі | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,5$ | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,5$ | 1,5 |
| 2. | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,5$ | Піски середньої щільності або щільні | 1,2 |
| 3. | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $0,25 < J_L \leq 0,5$ | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L < 0,25$ | 1,35 |
| 4. | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $0,25 < J_L \leq 0,5$ | Піски середньої щільності або щільні | 1,1 |
| 5. | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,25$ з прошарками до 50% глинистих ґрунтів консистенції $J_L < 0,25$ або пісків середньої щільності або щільних | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L < 0,25$ | 1,0 |
| 6. | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L > 0,25$ з прошарками до 50% глинистих ґрунтів консистенції $J_L < 0,25$ або пісків середньої щільності або щільних | Піски середньої щільності або щільні | 0,9 |
| 7. | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L < 0,25$ або піски середньої щільності та щільні з прошарками до 50% пилувато-глинистих ґрунтів консистенції $J_L > 0,25$ | Пилувато-глинисті ґрунти консистенції $J_L < 0,25$ | 0,9 |
| 8. | Піски середньої щільності або щільні з прошарками до 50% пилувато-глинистих $J_L > 0,25$ | Піски середньої щільності або щільні | 0,8 |
| 9. | Піски середньої щільності або щільні | Піски середньої щільності або щільні | 0,6 |

глянуті в окремій статті [13].

Права частина залежності (1) означає, що зусилля вдавлювання $N_{вд}$ достатньо для занурення палі в ґрунт. Порушення цієї залежності також робить процес вдавлювання палі неможливим.

Величина опору ґрунту вдавлюванню $R_{гр}$ при заданих розмірах палі повністю залежить від видів та фізико-механічних характеристик ґрунтів, що складають будівельний майданчик. Значення $R_{гр}$ визначається за результатами польових випробувань натурних палей відповідно до ДСТУ Б.В.2.1-27 [3] або за даними випробувань ґрунтів палями відповідно до ДСТУ Б.В.2.1-1 (ГОСТ 5686) [4] або статичного зондування відповідно до ДСТУ Б.В.2.1-9 [5].

На практиці найчастіше, на стадії проектування значення $R_{гр}$ визначають за даними статичного зондування ґрунтів, а перед початком масового занурення палей уточнюють за результатами вдавлювання контрольних робочих палей. Залежність (2) означає, що з часом (після «відпочинку» палей) при величині зусилля, що вдавлює $N_{вд}$ буде забезпечена прийнята в проєкті розрахункова несуча здатність палей F_d .

Між зусиллям вдавлювання палі в кінці занурення $N_{вд}$ і несучою здатністю палі F_d існує прямий зв'язок: якщо з часом несуча здатність ґрунту навколо палі не буде змінюватися ($K_{гр} = 1$) і коефіцієнт надійності прийняти рівним одиниці, то несуча здатність палі F_d дорівнюватиме величині зусилля наприкінці занурення палі ($F_d = N_{вд}$). Однак досвід показав [6], [7], що для вдавлюваних палей також як і для забивних палей, з часом (після «відпочинку») несуча здатність ґрунту навколо палі змінюється по-різному в різних ґрунтах: в глинистих ґрунтах - збільшується тим більше, чим вище їхня консистенція; у піщаних ґрунтах – зменшується [8].

Отримані нами на основі обробки поки що обмеженої кількості результатів випробувань палей, занурених методом вдавлювання, значення коефіцієнтів зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавлюваних палей у часі наведено в таблиці 1.

З залежності (2) випливає, що чим більше значення коефіцієнта $K_{гр}$, тим менше необхідно вдавлююче зусилля для забезпечення однієї і тієї ж необхідної несучої здатності палей F_d . Наприклад, для забезпечення несучої здатності палі 1000 кН потрібні такі значення зусилля вдавлювання $N_{вд}$.

при $K_{гр} = 1,5$ $N_{вд} = 800$ кН;
 $K_{гр} = 1,0$ $N_{вд} = 1200$ кН;
 $K_{гр} = 0,6$ $N_{вд} = 2000$ кН.

Це означає, що для досягнення одного і того ж ефекту – вдавлювання однієї палі із заданою несучою здатністю в ґрунтових умовах №9 у таблиці 1

буде потрібно зусилля вдавлювання в 2,5 рази більше, ніж у ґрунтових умовах №1 у таблиці 1, та в 1,67 рази більше ніж у ґрунтових умовах №5 таблиці 1.

Якщо оцінювати ефективність технології вдавлювання в певних інженерно - геологічних умовах за ймовірністю (можливістю) порушення в процесі виконання робіт залежності (1), що рівносильне неможливості застосування технології вдавлювання палей у даних ґрунтових умовах, то, очевидно, що ефективність технології вдавлювання палей буде вищою, у тих ґрунтових умовах, у яких потрібно менше зусилля вдавлювання $N_{вд}$, для забезпечення заданого проєктного значення несучої здатності палей F_d , тобто в тих ґрунтових умовах, в яких більше значення коефіцієнта зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавлюваної палі $K_{гр}$.

Виходячи з викладеного за ефективністю застосування технології вдавлювання палей усі ґрунтові умови, представлені пухкими (нескальними) ґрунтами можна розбити на три групи, наведені в таблиці 2.

Наведена в таблиці 2 класифікація ефективності застосування технології занурення палей та шпунта вдавлюванням підтверджується результатами виконаних нами робіт з вдавлювання палей на десятках реальних об'єктів з будівництва нових та реконструкції існуючих будівель та споруд у м. Києві, Одесі, Калінінграді, Борисполі та других містах.

Досвід показав, що для I групи ґрунтових умов (високоєфективна) характерна «легкість» виконання робіт з вдавлювання палей, що виражається у відсутності будь-яких труднощів при виконанні робіт, висока продуктивність і рентабельність робіт, підвищена конкурентоспроможність вдавлюваних палей з іншими альтернативними способами палевих робіт.

У таких високоефективних ґрунтових умовах I групи нами були виконані роботи з вдавлювання палей на більшості об'єктів нового будівництва у м.м. Одесі, Калінінграді, Борисполі та кілька об'єктів у м. Києві. При цьому єдиним ускладненням на деяких об'єктах з високим рівнем ґрунтових вод була складність переміщення будівельної техніки в котловані будмайданчика через обводнення ґрунтів. Ця складність характерна не тільки для технології вдавлювання, а й для всіх інших технологій палевих робіт. Подолалася ця складність традиційно: відсипанням по дну котловану шару ґрунту, що добре дронує, наприклад, піску або застосуванням сланів.

У ґрунтових умовах II групи для продавлювання прошарків щільних ґрунтів потрібно збільшувати зусилля вдавлювання, значення якого може при цьому перевищувати допустиму величину $R_{ств}$ залежності (1) або величину зусилля яке може ство-

Таблиця 2.

Групи ґрунтових умов по ефективності технології вдавлювання палей

| Групи ґрунтових умов | Нумера ґрунтових умов в таблиці 1 | Позначення $K_{гр}$. |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| I група «високоєфективна» | 1, 2, 3, 4 | $K_{гр} > 1,10$ |
| II - група «ефективна» | 5, 6, 7 | $0,9 \leq K_{гр} < 1,1$ |
| III – група «неефективна» | 8,9 | $K_{гр} < 0,9$ |

риту застосовуване сваєвдавлююче обладнання. Тому в таких умовах вдавлювання палі, як правило, виконують через лідерні свердловини або з використанням ефекту тиксотропії (розущільнення) ґрунту бурінням свердловини без вилучення ґрунту [9]. Це робить технологію вдавлювання палі цілком конкурентною, але погіршує порівняно з ґрунтовими умовами I групи такі показники як вартість, продуктивність та строки виконання робіт.

Однак незважаючи на це технологія вдавлювання палі у ґрунтових умовах II групи часто застосовується як при новому будівництві так і при посиленні фундаментів існуючих та реконструйованих будівель. Зокрема, лише нами виконано вдавлювання палі на 26 об'єктах у м. Києві у ґрунтових умовах II групи.

Що стосується III групи ґрунтових умов представлених пісками, то нами спочатку піски були виключені з галузі застосування технології вдавлювання палі і шпунту [10], [11]. Проте спроби вдавлювання палі у піски були і є досі, сподіваючись досягнення бажаного результату з допомогою буріння лідерних свердловин. Наш досвід застосування технології вдавлювання палі у пісках на двох об'єктах у м. Києві показав, що буріння лідерних свердловин у пісках не дає бажаного результату. На одному об'єкті, на Оболоні в намивних пісках з рівнем ґрунтових вод на глибині 3,2м, при глибині лідерної свердловини 5,0м діаметром 300мм палі перетином 300х300мм довжиною 6,0м при вдавлюванні давали відмову (зупинялися) на глибині 3,5м при зусиллі вдавлювання 900 кН.

Для занурення палі до проектної позначки на цьому об'єкті було прийнято та реалізовано рішення добивати палі дизельмолотом С 996.

На іншому об'єкті на Подолі у водонасичених пісках дрібних середньої щільності палі перетином 300х300мм довжиною 8м при глибині лідерної свердловини 5м давали «відмову» при навантаженні, що вдавлює, 900 кН на глибині 2,70 ч 3,0м. При спробі додати палі на другий день палі «зривалися» (починали занурюватися) при навантаженнях 500 - 550кН, але після занурення на 120 ч 150мм при навантаженнях 900 ч 950кН зупинялися і при подальшому збільшенні навантаження палі не занурювалися. В цих умовах було прийнято рішення вдавлювати палі через лідерні свердловини, буріння яких виконувалося під захистом глинистого розчину. Така технологія дозволила занурити палі на проектну позначку і забезпечити необхідну несучу здатність. Однак ефективною цю технологію вдавлювання палі назвати не можна, оскільки буріння лідерних свердловин під захистом глинистого розчину значно погіршило показники вартості, тривалості та трудомісткості виконання робіт.

На практиці, у випадках аналогічних наведеним вище двом прикладам, як правило, технологію занурення палі не змінюють, а в кращому випадку недозанурені палі зрубують на проектній позначці, що робить фундаменти ненадійними, так як можуть бути порушені умови розрахунку як по I так і по II граничним станів.

У гіршому випадку і найчастіше недозанурені палі, що дали «відмову» при проектному значенні зусилля, що вдавлює, намагаються додати збіль-

шуючи вдавлююче зусилля до величини, яке перевищує граничну несучу здатність палі за матеріалом. В результаті існує велика ймовірність руйнування палі, чого працівники, що обслуговують сваєвдавлюючу установку, можуть і не помітити, але це дозволяє занурити палю на проектну позначку та уникнути операції зі зрубання палі. Цей момент дуже важливий для установок з передачею зусилля, що вдавлює, на палю через бічні грані за допомогою захоплення, так як така сваєвдавлююча установка не може зрушитися з точки, поки не буде зрубана палія або занурена нижче захоплення. З вищевикладеного слід, що технологія вдавлювання палі у ґрунтових умовах складених пісками (III група за таблицею 2) не тільки неефективна а й ненадійна.

Це підтверджує практика. Так на сьогодні в м. Києві нам відомо, принаймні одна будівля, побудована на палях, що вдавлюються, в пісках, що вимагає посилення фундаментів, через їх нерівномірні осадки.

Для виключення подібних випадків необхідно розробити та ввести в дію ДСТУ по технології улаштування палі, що вдавлюються, тому що розроблені НДІБВ і введені в дію в 1991 році РСН 357-91 «Технология устройства фундаментов из железобетонных свай, погружаемых вдавливанием» стосується технології застосування палевдавлюючого обладнання з вакуумним анкером, а сьогодні вдавлювання палі і шпунту виконуються в основному обладнанням гравітаційного типу (з використанням ваги обладнання і анкерних вантажів), або з використанням ваги конструкцій існуючих будівель (при підсиленні фундаментів), або з використанням ефекту ґрунтового вдавлювання (при вдавлюванні шпунту).

У піщаних ґрунтах, у тому числі водонасичених, метод вдавлювання ефективно може бути застосований у так званих, буровдавлюваних палях за аналогією з бурозабивними палями, запропонованими колишнім директором НДІБВ Ревою Володимиром Захаровичем [12], за рахунок підвищеної несучої здатності таких палі.

Сутність цієї технології в тому, що через свердловину глибиною на 1 - 3м менше довжини ж/б палі, заповнену повільнотвердіючим розчином, що повільно твердіє, вдавлюється залізобетонна палія з розміром діагоналі поперечного перерізу не більше діаметра свердловини (Рис.1).

Ефект підвищеної несучої здатності тут досягається за рахунок того, що вся енергія вдавлюючого зусилля витрачається на заглиблення нижнього кінця з/б палі на 1 ч 3м нижче забою свердловини, а бурова частина палі після набору повільнотвердіючим розчином міцності включається в роботу по бічній поверхні. Несуча здатність такої палі визначається за формулою (3)

$$\Phi = N_{вд} \cdot K_{гр} + U \sum \gamma_{cf} f_i \cdot h_i \quad (3)$$

$N_{вд}$ – зусилля вдавлювання залізобетонної палі наприкінці занурення, кН;

$K_{гр}$ – коефіцієнт зміни у часі несучої здатності ґрунтів навколо вдавленої палі, що визначається за таблицею 1;

U – периметр поперечного перерізу свердловини, м;

γ_{cf} - коефіцієнт умов роботи ґрунту по боковій поверхні бурових паль, що визначається за таблицею Н.3.1 ДБН В.2.1-10-2009 [1];

f_i - розрахунковий опір і-го шару ґрунту на бічній поверхні бурової частини палі, кПа, що приймається за таблицею Н.2.2. ДБН В.2.1-10-2009 [1];

h_i – товщина і-го шару ґрунту по глибині свердловини, м.

У звіті [12] наведено склад повільнотвердіючого розчину та інші корисні дані за технологією бурозабивних паль.

Висновки

1. Область застосування методу вдавлювання паль по ґрунтовим умовам характеризується наявністю трьох груп умов: група I – високоефективні умови; група II – ефективні умови; група III – не ефективні умови.

2. Ґрунтові умови I групи, в яких метод вдавлювання паль має високу ефективність представлені зверху до кровлі несучого шару пілувато-глинистими ґрунтами з показником консистенції $IL > 0,25$ і

мають значення коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунту навколо вдавлюваної палі у часі K_{gr} не менш ніж 1,10 (дивись п.п. 1,2,3,4 таблиці 1).

3. Ґрунтові умові II групи, в яких метод вдавлювання паль достатньо ефективен, відрізняються від умов групи I тим що в прорізаємих палями пілувато-глинистих ґрунтах з $IL > 0,25$ можуть бути щільні прошарки пісчаних або пілувато-глинистих ґрунтів і мають значення коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунтів навколо вдавненої палі $0,9 \leq K_{gr} < 1,1$ (див.п.п. 5,6,7 таблиці 1). В таких умовах вдавлювання паль, як правило, виконують через лідерні свердловини, або з використанням ефекту тиксотропії ґрунту бурінням свердловин без вилучення ґрунту. Це погіршує порівняно з ґрунтовими умовами I групи такі показники як вартість, продуктивність та строки виконання робіт.

4. Ґрунтові умови III групи, представлені пісками середньої щільності або щільними зі значенням коефіцієнту зміни несучої здатності ґрунту навколо вдавненої палі $K_{gr} < 0,9$, необхідно виключити із області застосування технології вдавлювання паль.

Література

1. Зміна №1 до ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. К., Мінрегіонбуд України.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К. Мінрегіонбуд України.
3. ДСТУ Б.В.2.1-27:2010. Основи та фундаменти споруд. Палі, Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. К. Мінрегіонбуд України.
4. ДСТУ Б.В.2.1-1 (ГОСТ 5686). Основи та фундаменти будинків і споруд. Ґрунти. Методи польових випробувань палями. К. Мінрегіонбуд України.
5. ДСТУ Б.В.2.1.9 (ГОСТ 19912). Основи та фундаменти будинків і споруд. Ґрунти. Методи випробувань статичним та динамічним зондуванням. К. Мінрегіонбуд України.
6. Б.В.Лейкін, Є.М.Перлей, Є.В.Светинський, Є.Б.Гаврилов. Техніка для занурення паль втисканням. Ж-л Механізація будівництва, 38, 1987.
7. Методичні рекомендації щодо проведення польових випробувань та оцінки несучої здатності забивних паль в обводнених лісових ґрунтах. К., НДІБВ, 1982.
8. ДСТУ Б.В.3.1-2:2016. Ремонт та посилення несучих та огорожувальних конструкцій та основ будинків та споруд. К. Мінрегіонбуд України.
9. Романов С.В., Романов Д.А. Технологія вдавлювання паль по лідируючих свердловинах з використанням тиксотропії ґрунтів. Ж-л «Основи, фундаменти та механіка ґрунтів» №1, 1997.
10. Романов С.В., Яременко Г.Я., Глуценко Ю.М. Інструкція з технології занурення паль втисканням. К., НДІБВ, 1986.
11. РСН 357-91. Технологія влаштування фундаментів із залізобетонних паль, що занурюються вдавлюванням. К., Держбуд України.
12. Науково-технічний звіт АП НДІБВ на тему А-154.402-91 «Технологія влаштування збірно-монолітних бурозабивних паль у складних інженерно-геологічних умовах із застосуванням повільно-твердіючих розчинів». К., 1992.
13. Романов С.В. Розрахунок максимально допустимого навантаження на залізобетонну палю в процесі вдавлювання її в ґрунт. Ж-л. Нові технології в будівництві. № , 2023 рік.

References

1. Zmina №1 do DBN V.2.1-10-2009. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia. K., Minrehionbud Ukrainy.
2. DBN V.2.6-98:2009. Konstruksii budynkiv ta sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia. K. Minrehionbud Ukrainy.
3. DSTU B.V.2.1-27:2010. Osnovy ta fundamenti sporud. Pali, Vyznachennia nesuchoi zdatnosti za rezultatamy polovykh vyprobuvan. K. Minrehionbud Ukrainy.
4. DSTU B.V.2.1-1 (HOST 5686). Osnovy ta fundamenti budynkiv i sporud. Grunti. Metody polovykh vyprobuvan paliamy. K. Minrehionbud Ukrainy.
5. DSTU B.V.2.1.9 (HOST 19912). Osnovy ta fundamenti budynkiv i sporud. Grunti. Metody vyprobuvan statychnym ta dynamichnym zonduvanniam. K. Minrehionbud Ukrainy.
6. B.V.Leikin, Ye.M.Perlei, Ye.V.Svetynskiy, Ye.B.Havrylov. Tekhnika dlia zanurennia pal vtyskanniam. Zh-l Mekhanizatsiia budivnytstva, 38, 1987.
7. Metodychni rekomendatsii shchodo provedennia polovykh vyprobuvan ta otsinky nesuchoi zdatnosti zabyvnykh pal v obvod-

nenykh lisovykh gruntakh. K., NDIBV, 1982.

8. DSTU B.V.3.1-2:2016. *Remont ta pidsylennia nesuchykh ta ohorodzhuvalnykh konstruksii ta osnov budynkiv ta sporud. K. Minrehionbud Ukrainy.*

9. Romanov S.V., Romanov D.A. *Tekhnolohiia vdacliuvannia pal po lidyruuiuchykh sverdlodynakh z vykorystanniam tyksotropii gruntiv. Zh-l «Osnovy, fundamenti ta mekhanika gruntiv» №1, 1997.*

10. Romanov S.V., Yaremenko H.Ia., Hlushchenko Yu.M. *Instruktsiia z tekhnolohii zanurennia pal vtyskanniam. K., NDIBV, 1986.*

11. RSN 357-91. *Tekhnolohiia vlashtuvannia fundamentiv iz zalizobetonnykh pal, shcho zanuriuutsia vдавliuvanniam. K., Derzhbud Ukrainy.*

12. *Naukovo-tekhnichnyi zvit AP NDIBV na temu A-154.402-91 «Tekhnolohiia vlashtuvannia zbirmo-monolitnykh burozabyvnykh pal u skladnykh inzhenerno-geolohichnykh umovakh iz zastosuvanniam povilno-tverdiuchykh rozchyniv». K., 1992.*

13. Romanov S.V. *Rozrakhunok maksimalno dopustymoho navantazhennia na zalizobetonnu paliu v protsesi vдавliuvannia yii v grunt. Zh-l. Novi tekhnolohii v budivnytstvi. № , 2023 rik.*

¹ S. Romanov, Ph.D, <https://orcid.org/0009-0002-3537-3045>;

² M. Kozachenko, Senior Researcher

^{1,2} State Enterprise "Research institute of building production named V.S. Balitsky", Kyiv

EFFICIENCY OF PILE DRIVE TECHNOLOGY IN DIFFERENT SOIL CONDITIONS

Abstract. *Based on the experience of SE NDIBV and TEHKOMP LLC in the development and application of pile and sheet piling technology in the construction of new and reconstruction of existing buildings, the article examines the effectiveness of pile piling technology in various soil conditions. The purpose of this article is to establish an effective field of application of the method of driving piles during installation or strengthening of building foundations.*

In order to achieve the specified goal, the following were processed and summarized the results of pile driving works performed in the past years; the analytical dependencies (1) and (2) between the main parameters of the pile driving process, the violation of which makes pile driving impossible or impractical, were analyzed; on the basis of the statistical processing of the test results of the experimental depressed piles, the values of the coefficient of change in the bearing capacity of the soil around the depressed piles in Kgr time, the values of which vary in different soil conditions from 0.6 to 1.5, were specified and given.

It follows from dependence (2) that the greater the value of the coefficient of change in the load-bearing capacity of the soil around the pressed piles in the time Kgr, the less pressing force is required to ensure the same load-bearing capacity of the piles Fd. For example, to ensure the bearing capacity of a pile of 1000 kN, the following values of the compression force Nvd are required: at Kgr=1.5 Nvd=800 kN; at Kgr=1.0 Nvd=1200 kN; at Kgr=0.6 Nvd=2000 kN.

This means that in order to achieve the same effect when driving a pile in soil conditions where Kgr=0.6, the pressing force is 2.5 times more than in soil conditions where Kgr=1.5. Based on the above, all soil conditions, represented by several soils, are proposed to be classified (divided) into the following three groups according to the effectiveness of the pile driving technology application: Group I - "highly effective" - soil conditions that have Kgr 1.1; II group - "effective" - soil conditions with 0.9 Kgr 1.1; III group - "not effective" - soil conditions with Kgr 0.9.

The following conclusions are given in the article.

The field of application of the method of driving piles according to soil conditions is characterized by the presence of three groups of conditions: group I – highly effective conditions; group II – effective conditions; group III - not effective conditions.

Soil conditions of group I, in which the method of driving in piles is highly effective, are represented from above to the roof of the bearing layer by dusty clayey soils with a consistency index IL > 0.25 and have a value of the coefficient of change of the bearing capacity of the soil around the driven pile in Kgr time of at least 1, 10 (see items 1, 2, 3, 4 of table 1).

The soil conditions of group II, in which the pile driving method is effective enough, differ from the conditions of group I in that in dusty-clay soils with IL > 0.25 cut by piles, there may be dense layers of sandy or dusty-clay soils and have the value of the coefficient of change in bearing capacity of soil around the driven pile 0.9 Kgr < 1.1 (see items 5, 6, 7 of table 1). In such conditions, the piles are driven in, as a rule, through pilot wells, or using the effect of soil thixotropy by drilling wells without extracting the soil. Compared to soil conditions of the I group, this worsens such indicators as cost, productivity and terms of performance of works.

Soil conditions of the III group, represented by sands of medium density or dense with the value of the coefficient of change of the bearing capacity of the soil around the driven pile Kgr < 0.9 must be excluded from the field of application of the technology of driving piles.

Keywords. *Indentation technology, pile, soil conditions, efficiency, coefficient of variation, bearing capacity, soil.*