

УДК 624.155.624.155.12

I.A. Карпюк, к.т.н., доцент
В.М. Карпюк, д.т.н., професор
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ПРОГНОЗ ОСНОВНИХ ТА ДОДАТКОВИХ ОСІДАНЬ ОДИНОЧНИХ ВДАВЛЕНИХ ПАЛЬ З УРАХУВАННЯМ ЇХ СУМІСНОЇ РОБОТИ

Розглянуто запропоновану авторами методику визначення основних та додаткових осідань двох близькорозташованих почергово заглиблених і навантажених паль, яка враховує вплив способу їх заглиблення, віддалу між ними та рівень навантаження.

Ключові слова: осідання, одиночна палля, забивна призматична палля.

I.A. Карпюк, к.т.н., доцент
В.М. Карпюк, д.т.н., професор
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ПРОГНОЗ ОСНОВНЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОСАДОК ОДИНОЧНЫХ ВДАВЛЕННЫХ СВАЙ С УЧЕТОМ ИХ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ

Рассмотрена предложенная авторами методика определения основных и дополнительных осадок двух близрасположенных поочередно вдавленных и нагруженных свай, которая учитывает влияние способа их погружения, расстояние между ними и уровень нагружения.

Ключевые слова: осадки, одиночная свая, забивная призматическая свая.

I.A. Karpuk, PhD
V.M. Karpuk, professor
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

THE PRIMARY AND SECONDARY SLUDGE PREDICTION OF SINGLE DEPRESSED PILE TAKING INTO ACCOUNT ITS COLLABORATION

The authors consider the proposed method of determining the primary and secondary of two adjacent alternately depressed and loaded piles, which takes into account the effect of the method of immersion, the distance between them and the level of loading.

Keywords: settlements, single pile, prismatic driven pile.

Вступ. Структура перебудови економіки впродовж останніх десятиліть спричинила переорієнтацію значної частини організацій та фірм з типового будівництва на вільних територіях на реконструкцію, підсилення, модернізацію існуючих будинків та споруд, а також на нове будівництво в складних умовах міської забудови зі збереженням історичних і архітектурних пам'ятників, що вимагає прийняття нестандартних рішень, зокрема використання вдавлених паль.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Актуальність досліджень за вказаною темою обумовлено, з одного боку, необхідністю влаштування фундаментів нових об'єктів чи будівель, на яких відбувається реконструкція, у безпосередній близькості до будинків та споруд, що

експлуатуються. З іншого боку, існуюча нормативна і літературна база, впровадження нових ощадних технологій та техніки відстають від змін, що відбулися, у будівництві. Діючі норми недостатньо враховують різницю між роботою вдавлених і забивних паль, у них недостатньо аргументовано рекомендації щодо визначення взаємного впливу існуючих і щойно влаштованих фундаментів.

Нова хвиля інтересу до технології заглиблення паль вдавлюванням виникла у нашій країні на початку 80-х років минулого століття, коли з'явилася необхідність зведення будівель у безпосередній близькості в умовах щільної забудови і реконструкції центральних районів великих міст [1 – 4].

Широке застосування заглиблення паль вдавлюванням зумовлене такими факторами. По-перше, відсутність динамічних навантажень на ґрунт основи і, як наслідок, на близькорозташовані несучі конструкції будівель та споруд, що дозволяє виконувати вказані роботи не тільки зовні, а й із середини будівель, що знаходяться в аварійному або незадовільному технічному стані [5].

По-друге, висока точність заглиблення паль і, як наслідок, контроль за їхньою несучою здатністю виключає помилки з недозаглибленням паль та забезпечує їх проектну несучу здатність.

По-третє, спосіб вдавлювання має низьку енергоємність. Дослідження Б. В. Гончарова і Ю. Д. Трояновського в БашНДІбуді [6], які отримали підтвердження в м. Санкт-Петербург (Є.М. Перлей, С.В. Гдалін), показали, що при заглибленні паль вдавлюванням (35×35 см, $h = 12$ м) у глинисті ґрунти енергозатрати складають $190 \cdot 10^5$ Дж, а вібраційним (вібратор ВП-1) або ударним (дизель-молот С-1047) способами відповідно $670 \cdot 10^5$ та $606 \cdot 10^5$ Дж. Ці дослідження підтвердили, що при вдавлюванні робота в основному затрачується на заглиблення палі й витиснення ґрунту в об'ємі, а при забиванні або віброзаглибленні більша її частина (близько 60%) – на створення коливань палі, ґрунту, що її оточує, прилеглих будівель та ін.

Суттєва перевага методу заглиблення паль вдавлюванням полягає в тому, що він є екологічно чистим і запобігає багатьом професійним захворюванням.

Основними недоліками цього методу є те, що уявна простота технології влаштування паль вдавлюванням створює ілюзію можливості швидкого опанування цього методу з використанням будівельних машин, що випускаються серійно, переобладнаних, як правило, в кустарних умовах. Відсутність у деяких випадках необхідних знань та досвіду при визначенні технічного стану будівельних конструкцій, які інколи використовують як упори, може привести до утворення аварійної ситуації на об'єкті реконструкції.

Через недосконалість нормативної бази проектні інститути й організації, що традиційно налаштовані та орієнтовані на нове

будівництво, у ряді випадків виявилися неготовими до розроблення проектів реконструкції й підсилення фундаментів за новими технологіями.

У деяких випадках ці роботи виконують організації загально-будівельного профілю, які не мають достатнього досвіду в галузі реконструкції та підсилення в умовах відсутності або низької якості проектної документації, без авторського нагляду й наукового супроводу проекту, що призводить до аварій і дискредитації цього методу.

Реактивне зусилля, яке дорівнює зусиллю заглиблення палі, при новому будівництві традиційно компенсується вагою самої базової машини або додаткових вантажів, котрі збільшують габарити, обмежують її маневреність, негативно впливають на ґрунт основи будівлі, в якій відбувається реконструкція, та, в цілому, стримує застосування цього методу в умовах щільної забудови.

Доцільність використання вдавлених паль з метою збільшення несучої здатності основ фундаментів неглибокого закладання чи пальтових фундаментів влучно сформульована в роботі [6] і зумовлена такими факторами:

- реконструкцією, що супроводжується збільшенням сталих і тимчасових навантажень на фундаменти;
- реконструкцією, яка порушує нормальну роботу основи або у зв'язку із заміною непридатних до подальшої експлуатації фундаментів;
- аварійними осіданнями і кренами, зумовленими помилками при вишукуваннях, проектуванні або зведенні будівель та споруд, відхиленнями від усталеного режиму експлуатації (прориви або витікання водних комунікацій, зниження рівня ґрутових вод, підтоплення території, активізація антропогенних суфозійно-карстових процесів, особливі навантаження);
- забудовою території без урахування можливого негативного впливу на роботу основ і фундаментів існуючих будівель та споруд, що експлуатуються.

Постановка завдання. Метою цієї публікації є розкриття особливостей роботи вдавлених висячих призматичних паль, взаємного впливу одиночних паль, що знаходяться під дією статичного вертикального вдавлювального навантаження, а також внесення відповідних пропозицій щодо уточнення існуючої методики їх розрахунку. Задачі полягають у висвітленні результатів експериментальних досліджень взаємодії заглиблених вдавлюванням призматичних паль з піщаним ґрунтом у лабораторних і натурних умовах; дослідному вивчені взаємного впливу двох почергово вдавлених моделей призматичних паль з різним рівнем навантаження на їх несучу здатність та додаткові осідання; уточненні відомих і розробленні нових рекомендацій щодо врахування впливу рівня навантаження, віддалі між існуючою і щойно заглибленою палею на додаткові осідання існуючої та несучу здатність вдавленої палі у різних піщаних ґрунтах.

Основний матеріал і результати. Працездатність фундаментів із паль залежить від великої кількості чинників випадкової природи. Експериментальні дослідження несучої здатності паль і напруженодеформованого стану ґрунту, що їх оточує, пов'язані зі значними матеріальними затратами та великою трудомісткістю. Виходячи із цього, частину експериментів було виконано у лабораторних умовах з використанням моделей паль для отримання якісної картини процесів, що відбуваються. Для прив'язки отриманих даних до натурних умов було виконано польові випробування реальних призматичних паль при будівництві житлового будинку в м. Одеса.

Експерименти показали, що розрахунок основних осідань одиночних вдавлених висячих призматичних паль без розширення, які прорізають шар ґрунту з модулем зсуву G_1 , коефіцієнтом Пуассона ν_1 та опираються на ґрунт, котрий розглядається як лінійно деформований напівпростір, що характеризується модулем зсуву G_2 та коефіцієнтом Пуассона ν_2 , доцільно виконувати відповідно до рекомендацій додатка 4 до раніше діючого нормативного документа [7] при $N \leq \frac{F_d}{\gamma_k}$ і за умови $\frac{L}{d} > 5$, $\frac{G_1 \cdot L}{G_2 \cdot d} > 1$ (де L – довжина палі, м; d – діаметр або розмір бічної поверхні палі, м) за формулою

$$S = \frac{\beta \cdot N \cdot \gamma_{c,s}}{G_1 \cdot L \cdot K_s}, \quad (1)$$

де N – вертикальне навантаження, що передається на палю;
 β – коефіцієнт, який визначається за формулою вказаного додатка до норм [7].

Формула (1) відрізняється від формули (1) додатка 4 [7] наявністю коефіцієнтів K_s та $\gamma_{c,s}$.

Коефіцієнт K_s , котрий ураховує вплив способу заглиблення паль, тобто відношення осідань забивних до осідань вдавлених паль, приймається таким, що дорівнює 1 для забивних паль, а для вдавлених запропоновано визначати за емпіричною залежністю (2), отриманою з відповідної математичної моделі шляхом заміни закодованих змінних на натуральні значення чинників [8],

$$K_s = 18,65 - 9,20D(1 - 0,60\rho_d - 0,14D) - 21,08 \cdot \rho_d(1 - 0,30\rho_d) - 10,57W(1 - 10,04W), \quad (2)$$

де D – середня крупність піщинок у ґрунті, що змінюється у межах $D=0,1 \dots 0,9$ мм (від пилуватих до крупних);

ρ_d – щільність ґрунту в сухому стані зі значеннями $\rho_d=1,23 \dots 1,68$ т/м³ (від пухких до щільних);

W – вологість ґрунту, яка змінюється у межах $W=0 \dots 0,11$ (від сухого до такого, що містить у собі кількість води, здатну утриматися на поверхні піску).

Залежності від співвідношення дослідних факторів коефіцієнт

K_s змінюється в межах 0,85...1,61;

γ_{cs} – коефіцієнт умов роботи щойно вдавленої палі в ґрунті за наявності близькорозташованої та навантаженої ($\gamma_k=1,2$) вертикальним статичним вдавлювальним навантаженням «існуючої» висячої палі. Він приймається таким, що дорівнює $\gamma_{cs}=1$ при віддалі між цими палями $L \geq 8,5d$. А при $L < 8,5d$ коефіцієнт γ_{cs} запропоновано визначати за залежністю

$$\gamma_{cs}=2,02-0,12L, \quad (3)$$

отриманою також із відповідної математичної моделі [8] шляхом заміни кодованої змінної (x_1) на натуральний вираз цього чинника. Із залежності видно (рис. 1), що при збільшенні L від 3,75 до 8,25d (з урахуванням допустимої екстраполяції) коефіцієнт γ_{cs} зменшується з 1,57 до 1,03.

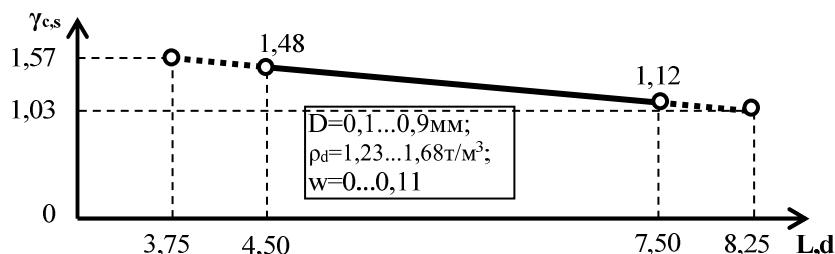


Рис. 1. Залежність коефіцієнта γ_{cs} від віддалі між двома сусідніми палями

Діючі норми, починаючи від нормативного документа [9], рекомендують визначати осідання пальового фундаменту як заглибленого умовного фундаменту на природній основі. Очевидно, що при проектуванні фундаментів із вдавлених паль при розрахунку доцільно використовувати більше з двох характеристичних (нормативних) значень осідань. Тоді формула (1) перетворюється у вираз

$$S = \frac{\max S_{\text{позр}} \cdot \gamma_{cs}}{K_s}. \quad (4)$$

Ще наприкінці позаминулого століття (1893, 1894 рр.) М. Лебединський [10] зробив висновок, що «... увеличение расстояния между сваями, очевидно, не может иметь вредных воздействий на устойчивость сооружений, так как при этом уменьшается взаимное влияние двух смежных свай и сопротивление каждой сваи делается все более независимым...».

Дослідами, проведеними В. М. Голубковим [10], Y. Koizumi, R.D. Chellis, W. Schenck та іншими дослідниками в польових умовах з короткими висячими палями в натуральну величину, вдалося довести, що збільшення несучої здатності паль та зменшення їх осідань, дійсно, залежать від віддалі між ними. Їхні дослідження показали, що осідання пальових фундаментів за однакових умовах навантаження у 6 – 7 разів є меншими від осідань фундаментів на природній основі, складеній дрібними мулистими пісками. Було доведено, що осідання відносно невеликих пальових фундаментів зростають прямо пропорційно кореню квадратному від площині активної зони, розташованої у площині вістря паль.

Зі збільшенням кількості паль при будь-яких відстанях між ними осідання зростають прямо пропорційно до їх кількості. Але зі збільшенням відстані між ними інтенсивність наростання осідань зменшується. Дослідження роботи одиночних коротких висячих паль та кущів із них при їхній кількості, яка не перевищує 16 шт., показали, що осідання одиночної палі при однакових питомих навантаженнях, як правило, у 4 – 9 разів є меншим від осідань групи паль. При однакових осіданнях (~5 мм) опір одиночної палі в 1,5 – 3,0 рази є більшим, ніж опір палі у пальовому фундаменті. Аналіз отриманих результатів дозволив зробити висновок про те, що характер роботи одиночних паль в ґрунті та в пальовому фундаменті є однаковим. При правильному врахуванні ґрунтових умов осідання одиночної палі може бути використане для характеристики осідань пальового фундаменту та його несучої здатності.

Для правильного визначення осідань пальових фундаментів необхідно знати характер і величину розподілу напружень у ґрунтовому масиві з урахуванням глибини прикладання навантаження. Н.М. Дорошкевич дав розв'язання просторової задачі Р. Міндліна для визначення напружень від рівномірно розподіленого навантаження, прикладеного в середині масиву. Розв'язуючи задачу Є. Мелана про величину вертикальних стисків напружень від ряду зосереджених сил P , прикладених в середині масиву на глибині h , можна, як показав А. О. Бартоломей [11], отримати формули для визначення напружень у міжпальовому просторі й під стрічковими пальовими фундаментами.

Отже, отримані авторами результати не протирічать даним інших дослідників та уточнюють їх.

Додаткове осідання «існуючого» навантаженого фундаменту у вигляді одиночної короткої висячої призматичної палі, зумовлене вдавлюванням та навантаженням сусідньої такої ж палі, можна визначити за допомогою такої залежності:

$$S_{12} = S \cdot K_{S,12} \cdot K_{\gamma_k}, \quad (5)$$

де S – осідання фундаменту, що розглядається, під дією розрахункового навантаження, виміряне або визначене за формулою (4);

$K_{S,12}$ – коефіцієнт, що характеризує відношення додаткових осідань «існуючої» палі S_{12} до основних осідань S , зумовлених дією розрахункового навантаження N , у різних ґрунтових умовах, який визначається за залежністю (6), отриманою шляхом перетворення відповідної математичної моделі;

K_{γ_k} – коефіцієнт, який враховує рівень навантаження на «існуючу» палю, у вигляді коефіцієнта надійності за навантаженням γ_k , який запропоновано визначати за формулою (7).

$$K_{S,12} = 26,43\rho_d(1 - 0,32D - 0,26\rho_d) + 9,07(1 + 0,18D) - 0,58L - 16,93; \quad (6)$$

$$K_{\gamma_k} = 12,64 - 15,34\gamma_k + 4,70\gamma_k^2. \quad (7)$$

Залежно від співвідношення дослідних факторів коефіцієнти $K_{S,12}$ та K_{γ_k} змінюються відповідно у межах 0,93...4,26 та 0,15...1,00 (рис. 2).

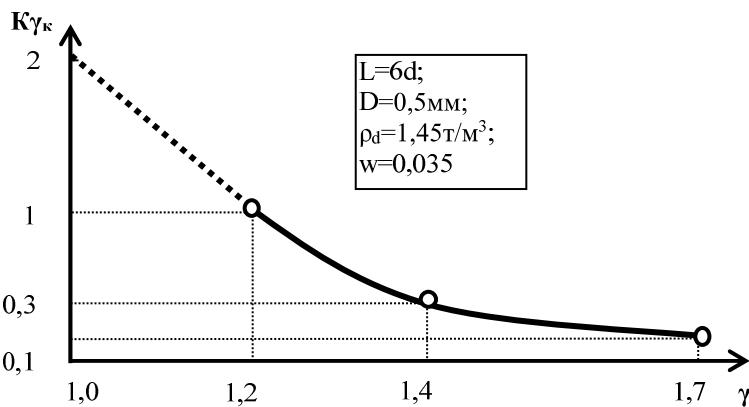


Рис. 2. Залежність коефіцієнта K_{γ_k} від рівня навантаження на «існуючу» палю

Порівняння дослідних і розрахункових значень осідань двох почергово вдавлених паль, визначених за рекомендаціями діючих вітчизняних норм проектування [12], показало, в цілому, задовільну їхню якісну збіжність з коефіцієнтом варіації $v \leq 40\%$.

Висновки:

1. Характерною особливістю уточненої авторами методики визначення основних осідань коротких висячих призматичних паль у піщаних або близьких до них ґрунтах за формулами (1), (4) є врахування впливу способу їх заглиблення вдавлюванням за допомогою коефіцієнта K_S , що змінюється в межах 0,9...1,6, а також умов роботи заново вдавленої палі в ґрунті за наявності близькорозташованої та навантаженої вертикальним статичним вдавлюючим навантаженням раніше заглибленої такої ж палі шляхом використання коефіцієнта $\gamma_{cs}=1,0...1,6$ залежно від віддалі між ними.

2. Додаткові осідання «існуючої» короткої висячої призматичної палі, які недостатньо враховуються діючими нормативними документами, при вдавлюванні та навантаженні сусідньої такої ж палі можна обчислити за відомими вимірюваними або визначеними розрахунком основними осіданнями «існуючої» палі з урахуванням віддалі між ними, характеристик піщаного ґрунту ($K_{s,12} = 0,93...4,3$) та рівня навантаження на «існуючу» палю (коефіцієнт $K_{\gamma_k} = 0,15...1,00$ і більше).

Література

1. Абелев, М.Ю. Исследования осадок жилых зданий на свайных фундаментах в слабых грунтах от воздействия близрасположенных строящихся зданий/ М.Ю. Абелев, К.М. Абелев, А.А. Постовалов// Вісник ОДАБА. – Одеса: Місто майстрів, 2001.– №4.– С.57–60.
2. Гдалин, С.В. Экспериментальные исследования несущей способности свай, погруженных способом вдавливания /С. В. Гдалин// Сб. научн. тр. ВНИИГС. Технология и оборудование для специальных строительных работ. – Л.: ВНИИГС, 1982. – С. 97–102.

3. Ильичев, В. А. Исследования влияния стряивающихся заглубленных близрасположенных зданий/В. А. Ильичев, П. А. Коновалов, Н. С. Никифорова// Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2002. – №4.–С.8–11.
4. Перлей, Е.М.Погружение свай способом вдавливания /Е. М. Перлей, Е. В. Светинский, С.В. Гдалин. – Л.: ЛДНТП, 1983.–32с.
5. Аббаев, П.А. Усиление оснований и фундаментов зданий и сооружений путем вдавливания малых составных свай/ П.А. Аббаев, А.С. Петрашень, М.А. Шевченко// Труды III междунар. конф. «Проблемы свайного фундаментостроения» Часть 2. – Пермь: Пермский политех. ин-т. – 1992. – С.29 – 30.
6. Савинов, А.В. Применение свай, погруженных вдавливанием, для усиления и устройства фундаментов в условиях реконструкции исторической застройки г. Саратова. / А. В. Савинов. – Саратов: Гос. техн. ун-т, 2000. – 124с.
7. Свайные фундаменты: СНиП 2.02.03-85* / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1986. – 36 с.
8. Карпюк, И.А. Особенности взаимодействия свай, погруженных вдавливанием, с грунтом основания: дис. кандид. техн. наук: 05.23.02 «Основания и фундаменты» Карпюк Ирина Анатольевна. – Одесса, 2003. – 227 с.
9. Основания зданий и сооружений: СНиП 2.02.01-83 / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
10. Голубков, В.Н. Несущая способность свайных фундаментов / В. Н. Голубков. – М.: Машстройиздат, 1950. – 144с.
11. Бартоломей, А.А. Прогноз осадок свайных фундаментов/ А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак , Б. С. Юшков. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
12. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Зміна 1. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 55 с.

*Надійшла до редакції 03.10.2013
©I.A. Карпюк, B.M. Карпюк*