

УДК 624.155.624.155.12

*І.А. 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 методика визначення основних та додаткових осідань двох поряд розташованих по чергово заглиблених і навантажених палей, яка ураховує вплив способу їх заглиблення, віддаль між ними та рівень навантаження.*

**Ключові слова:** *основні та додаткові осідання одиночних вдавлених і забивних призматичних палей.*

УДК 624.155.624.155.12

*И.А. Карпюк, к.т.н., доцент  
В.Н. Карпюк, д.т.н., профессор  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

## **ПРОГНОЗ ОСНОВНЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПРОСАДОК ОДИНОЧНЫХ ВДАВЛИВАЕМЫХ 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:** *основные и дополнительные осадки одиночных вдавненных и забивных призматических свай.*

UDC 624.155.624.155.12

*I.A. Karpyuk, PhD, Associate Professor  
V.N. Karpyuk, ScD, Professor  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

## **FORECAST OF BASIC AND ADDITIONAL DEPOSIT OF SINGLE PILES PRESSED INTO IN VIEW OF THEIR TEAMWORK**

*The authors consider the proposed method of determining the primary and secondary sludge 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:** *primary and secondary precipitation of single depressed and prismatic piles driven piles.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Структурна перебудова економіки в останні десятиліття привела до переорієнтації 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'яток, що вимагає прийняття нестандартних рішень, зокрема використання вдавлених паль.

Актуальність досліджень за вказаною темою обумовлена, 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 новихощадних технологій та техніки відстають від змін, що відбулися у будівництві. Діючі Норми недостатньо ураховують різницю між роботою вдавлених і забивних паль, у них не достатньо аргументовані рекомендації щодо визначення взаємного впливу існуючих і щойно влаштованих фундаментів.

**Аналіз останніх публікацій, у яких започатковане розв'язання цієї проблеми і на які спирається автор, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Нова хвиля інтересу до технології заглиблення паль вдавлюванням виникла у нашій країні на початку 80-х років ХХ ст., коли з'явилася необхідність у зведенні 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 поряд розташовані несучі конструкції будівель та споруд, що дозволяє виконувати вказані роботи не тільки зовні, а й зсередини 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-Петербурзі (Є.М. Перлей, С.В. Гдалін), показали, що при заглибленні паль вдавлюванням (35x35 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 витрачається на заглиблення палі й витиснення ґрунту в об'ємі, а при забиванні або віброзаглибленні більша її частина (біля 60%) – на створення коливань палі, ґрунту, що її оточує, прилеглих будівель та ін.

Суттєвою перевагою методу заглиблення паль вдавлюванням є те, що він є екологічно чистим та запобігає багатьом професійним захворюванням.

Основні недоліки цього методу полягають у тому, 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 упори, може призвести до утворення аварійної ситуації на об'єкті реконструкції.

Через недосконалість нормативної бази проектні інститути та організації, що традиційно налаштовані й орієнтовані на нове будівництво, у ряді випадків виявилися не готовими до розроблення проектів реконструкції та підсилення фундаментів за новими технологіями.

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

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

Доцільність застосування вдавлених паль з метою збільшення несучої здатності основ фундаментів неглибокого закладання або пальових фундаментів влучно сформульована в роботі [6] та зумовлена такими факторами:

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

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою публікації є розкриття особливостей роботи вдавлених висячих призматичних паль, взаємного впливу одиночних паль, що знаходяться під дією статичного вертикального вдавлюючого навантаження, а також внесення відповідних пропозицій щодо уточнення існуючої методики їх

розрахунку. Завдання досліджень полягають у висвітленні результатів експериментальних досліджень взаємодії заглиблених вдавлюванням призматичних паль з піщаним ґрунтом у лабораторних і натурних умовах, докладному вивченні взаємного впливу двох по чергову 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 несучої здатності вдавленої палі у різних піщаних ґрунтах.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Працездатність фундаментів із паль залежить від великої кількості чинників випадкової природи. Експериментальні дослідження несучої здатності паль і напружено-деформованого стану ґрунту, що їх оточує, пов'язані зі значними матеріальними затратами і 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 були виконані польові випробування реальних призматичних паль при будівництві житлового будинку в м. Одесі.

Експерименти показали, що розрахунок основних осідань одиночних вдавлених висячих призматичних паль без розширення, які прорізають шар ґрунту з модулем зсуву  $G_1$ , коефіцієнтом Пуассона  $\nu_1$  та опираються на ґрунт, який розглядається як лінійно-деформований півпростір, що характеризується модулем зсуву  $G_2$  та коефіцієнтом Пуассона  $\nu_2$ , доцільно виконувати згідно з рекомендаціями додатка 4 до раніше діючого

СНиП 2.02.03-85\* [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 палею;

$\beta$  – коефіцієнт, який визначається за формулою вказаного додатка до [7].

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

Коефіцієнт  $K_s$ , який ураховує вплив способу заглиблення паль, тобто відношення осідань забивних до осідань вдавлених паль, приймається таким, що дорівнює 1 для забивних паль, а для вдавлених його 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  $D=0,1...0,9$  мм (від пилюватих до крупних);

$\rho_d$  – щільність ґрунту у сухому стані зі значеннями  $\rho_d=1,23...1,68$  т/м<sup>3</sup> (від рихлих до щільних);

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

Залежно від співвідношення дослідних факторів коефіцієнт  $K_s$  змінюється в межах  $0,85...1,61$ .

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

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

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

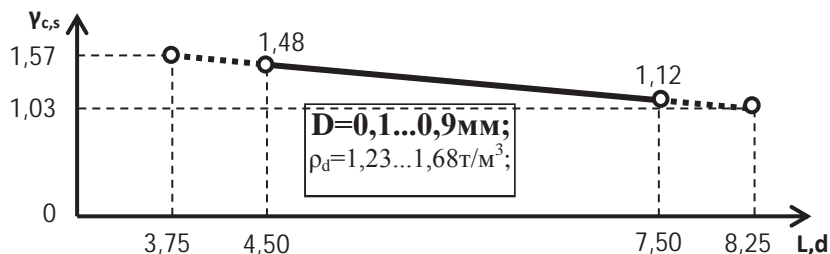


Рис. 1 – Залежність коефіцієнта  $\gamma_{c,s}$  від віддалі між двома сусідніми палями

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

$$S = \frac{\max S_{розр} \cdot \gamma_{c,s}}{K_s}. \quad (4)$$

Ще наприкінці позаминулого століття (1893, 1894 рр.) М. Лебединський [10] зробив висновок, що «... увеличение расстояния между сваями, очевидно, не может иметь вредных последствий 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], Koizumi Y., Chellis R.D., Schenck W. та іншими дослідниками в польових умовах з короткими висячими палями в натуральну величину, вдалося довести, що збільшення несучої здатності палі й зменшення їх осідань дійсно залежить від віддалі між ними. Їхні дослідження показали, що осідання пальових фундаментів за однакових умов 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 площі активної зони, розташованої у площині вістря паль. Зі збільшенням кількості паль при будь-яких віддаль між ними осідання збільшуються прямо пропорційно до їх кількості. Але зі збільшенням віддалі між ними інтенсивність наростання осідань зменшується. Дослідження роботи одиночних коротких висячих паль та куців із них при їхній кількості, що не перевищує 16 шт., показали, що осідання одиночної палі за однакових питомих навантажень, як правило, у 4 – 9 разів є меншим від осідань групи паль. За однакових осідань (~5мм) 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 у 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 рішення просторової задачі Р. Міндліна для визначення напружень від рівномірно розподіленого навантаження, прикладеного всередині масиву. Розв'язуючи задачу Є. Мелана про величину вертикальних стискаючих напружень від ряду зосереджених сил Р, прикладених усередині масиву на глибині h, можна, як показав А. А. Бартоломей [11], отримати формули для визначення напружень у міжпальовому просторі та 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 наступної залежності:

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

де  $S$  – осідання фундаменту, яке 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;

$K_{\gamma_k}$  – коефіцієнт, котрий урахує рівень навантаження на «існуючу» палу, у вигляді коефіцієнта надійності за навантаженням  $\gamma_k$ , 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  $K_{\gamma_k}$  змінюються відповідно у межах 0,93...4,26 та 0,15...1,00 (рис. 2).

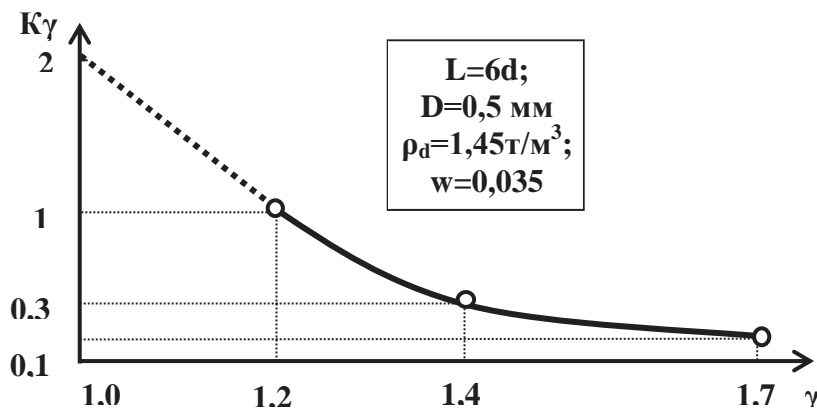


Рис. 2 – Залежність коефіцієнта  $K_{\gamma_k}$  від рівня навантаження на «існуючу» палу

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

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямку:**

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

2. Додаткові осідання існуючої короткої висячої призматичної палі, які не достатньо ураховуються діючими нормативними документами, при вдавлюванні та навантаженні сусідньої такої ж палі можна обчислити за відомими вимірними 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 № 4. – Одеса: ВМК «Місто майстрів», 2001. – 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 строящихся 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. – 32 с.
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. – 124 с.
7. Свайные фундаменты: СНиП 2.02.03-85\* / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.
8. Карпюк И.А. Особенности взаимодействия свай, погруженных вдавливанием, с грунтом основания: дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук: 05.23.02 «Основи і фундаменти» / Карпюк Ірина Анатоліївна. – Одеса, 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.: Машиностроиздат, 1950. – 144 с.
11. Бартоломей А.А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А.А. Бартоломей, И.М. Омельчак, Б.С. Юшков. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
12. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. Зміна 1. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 55 с.

Надійшла до редакції 29.01.2014  
©І.А. Карпюк, В.М. Карпюк