

## Визначення несучої здатності вдавлюваних паль з урахуванням їх «відпочинку»

Микола Корнієнко<sup>1</sup>, Михайло Жердицький<sup>2</sup>, Петро Павленко<sup>3</sup>, Тетяна Диптан<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури

31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,

<sup>1</sup>kornienko@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-9556-8488

<sup>2</sup>zmisheld@ukr.net, orcid.org/ 0000-0002-6681-3528

<sup>3</sup>ppavlenko@rambler.ru, orcid.org/ 0000-0002-7354-8531

<sup>4</sup>diptan@ukr.net, orcid.org/ 0000-0003-2852-014X

DOI: 10.32347/0475-1132.38.2019.16-21

**Анотація.** В даній роботі розглянуті результати випробування вдавлюваних залізобетонних паль статичним навантаженням за стандартною методикою та повторних випробувань із збільшенням терміну «відпочинку» на майданчику будівництва житлового комплексу в м. Київ. В умовах існуючої забудови проектування та зведення нових житлових комплексів виконується за технологіями влаштування паль з виключенням можливості прояву динамічної дії. Поширеною та перевіреною часом, на сьогодні, є технологія вдавлювання паль з поверхні спланованого майданчика чи з улаштуванням лідерних свердловин. Особлива актуальність цього процесу виникає на майданчиках з неоднорідними інженерно-геологічними умовами. Для визначення несучої здатності ґрунтів до початку влаштування пальового поля виконується ряд випробувань дослідних паль за існуючими методиками норм. Такі ж випробування паль з метою підтвердження їх несучої здатності виконуються і в процесі будівництва.

В останньому випадку за результатами випробувань несуча здатність паль, як правило, приймається за найменшою величиною (з числа випробуваних паль). Це об'єктивно призводить до заниження несучої здатності паль, зростання вартості будівництва за рахунок збільшення кількості паль та їх довжини; зміни конструктивних особливостей розрахункової схеми будівлі.

Відмічено фактори, що впливають на призначення тривалості «відпочинку» палі: особливості геологічної будови майданчика – зміна характеристик, умови будівництва – темпи зведення, технологія влаштування, ускладнені



**Микола Корнієнко**  
професор кафедри  
геотехніки  
к.т.н., проф.



**Михайло Жердицький**  
інженер науково-дослідної лабораторії  
основ і фундаментів в складних  
інженерно-геологічних умовах



**Петро Павленко**  
старший науковий співробітник  
науково-дослідної лабораторії  
основ і фундаментів в складних  
інженерно-геологічних умовах



**Тетяна Диптан**  
старший науковий співробітник  
науково-дослідної лабораторії  
основ і фундаментів в складних  
інженерно-геологічних умовах

випробування, неправильно встановлений нормативний час «відпочинку» палі в ґрунті, відповідно до конкретних умов будівництва.

Зроблено висновок про необхідність комплексного їх врахування при виконанні випробувань.

**Ключові слова.** несуча здатність, «відпочинок» палі, статичні випробування, вдавлювані палі.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При виборі пальових фундаментів, для передачі навантаження на основу, перед проектувальниками постає завдання – визначення несучої здатності палі безпосередньо на майданчику *in situ*. Особлива актуальність цього процесу виникає на майданчиках з неоднорідними інженерно-геологічними умовами. Для визначення несучої здатності ґрунтів до початку влаштування пального поля виконується ряд випробувань дослідних паль за існуючими методиками норм [2]. Слід відмітити, що ці методики не враховують особливостей ґрунтових умов та сучасних технологій. Такі ж випробування паль з метою підтвердження їх несучої здатності виконуються і в процесі будівництва. Незважаючи на близькість методик завантаження пробних паль, в світовій практиці, підходи до визначення розрахункової величини несучої здатності різні [1]. До того ж необхідно зауважити, що схеми таких випробувань можуть бути різними [2, 3].

Одним із методів проектування, запропонованих в Єврокодї 7 [4], є метод спостережень. Цей метод застосовується і для пальових фундаментів для оцінки зміни їх несучої здатності з часом у порівнянні з початковими значеннями. Він дозволяє оптимізувати параметри паль та приймати економічно обґрунтовані рішення по їх кількості.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Одним із факторів, яким часто нехтують, є вплив терміну «відпочинку» на несучу здатність пальових фундаментів. Зокрема, в статтях польських науковців представлені результати залежності несучої здатності від тривалості знаходження паль в різних ґрунтах. Дослідження базувалися на статичних (SPLT) та динамічних (PDA) тестах [8].

При комплексній оцінці несучої здатності паль враховувались особливості інженерно-геологічних умов майданчика, відмічено, що зміна параметрів основи має значний вплив на збільшення несучої здатності палі з часом.

Відомо, що при влаштуванні паль способом вдавлювання виникають зміни напружено-деформованого стану навколо палі [5, 6, 7] та міжпального простору. Для відновлення структурних зв'язків між частками ґрунту до випробувань паль необхідно витримувати період «відпочинку» палі, що встановлений нормативними документами [2]. В більшості випадків нормативний час «відпочинку» палі недостатній, його тривалість значно залежить не тільки від виду і стану ґрунту, а й від технологічних параметрів влаштування пальових фундаментів. Деякі положення, що стосуються визначення несучої здатності вдавлюваних паль при підсиленні фундаментів були викладені раніше у відомчих будівельних нормах [3], але і вони детальної відповіді про час відпочинку не дають.

Існуючий стандарт [2] на випробування паль з 1996 року не змінювався та не доповнювався новими вимогами. Очевидно, що розробка такого стандарту не є простим завданням. Це підтверджується тим, що Європейський стандарт на випробування паль статичним навантаженням був створений до ЄС-7 значно пізніше [4].

Необхідно зауважити, що ці вимоги не враховують:

- 1) локальних особливостей майданчика, які можуть призводити до зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів:
  - ділянок ослаблень ґрунтової основи, що не були виявлені при інженерно-геологічних вишукуваннях;
  - появи та впливу техногенних джерел підтоплення, ін.;
- 2) умов будівництва:
  - темпів зведення будівлі;
  - нормативних вимог до виготовлення та зберігання залізобетонних конструкцій;
  - прийняту за проектом технологію влаштування паль;

- ускладнені роботи з вдавлювання паль, що виконуються в безпосередній близькості від місць дослідних паль;

3) проте, один із головних чинників – неправильно встановлений нормативний час «відпочинку» палі в ґрунті, відповідно до конкретних умов будівництва.

### МЕТА РОБОТИ

Аналіз польових випробувань вдавлюваних залізобетонних паль статичним навантаженням та їх повторних випробувань із збільшенням терміну «відпочинку».

### ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо варіант пальових фундаментів, виконаних при будівництві житлового комплексу на майданчику в м. Києві. Для будинку за проектом були прийняті палі довжиною 10 м, перерізом 30×30 см. За геологічними умовами всі палі влаштовувалися з проходкою лідерних свердловин глибиною 5,0 м з поверхні дна котловану (нижче позначки 0.000 на 4,2 м). Максимальне вдавлююче навантаження на палю складало 1200 кН. Для випробування таких пробних та робочих паль на майданчику використовувалась вантажна платформа вдавлюючої установки, що відповідає вимогам додатку Б схеми б [2].

До початку випробувань голови паль додатково готувались для встановлення гідравлічного домкрата. Ступені навантаження при випробуванні паль приймалися з інтервалом: 100...200 кН, що відповідає вимогам п. 8.2.1 [1]; стабілізація деформації дослідних паль приймалась при величині приросту деформації, що не перевищувала 0,1 мм за 1 годину спостережень (п. 8.2.2 [1]).

В місцях випробування паль (Рис.1) геологічна будова майданчика представлена наступними інженерно-геологічними елементами:

ІГЕ-1 – рослинний шар – супісок темно-сірий, гумусований (на період влаштування пальового фундаменту зрізаний);

ІГЕ-2 – насипний ґрунт: супісок та пісок неоднорідний, з включенням будівельного сміття, уламків асфальту та бетону;

ІГЕ-3 – супісок зеленувато-сірий, піщанистий, пластичний;

ІГЕ-4а – пісок пилуватий, сірий, середньої щільності і щільний, насичений водою;

ІГЕ-5 – пісок мілкий, від середньої щільності до щільного, від малого ступеня водонасичення до насиченого водою;

ІГЕ-6 – пісок середньої крупності, середньої щільності і щільний, насичений водою.

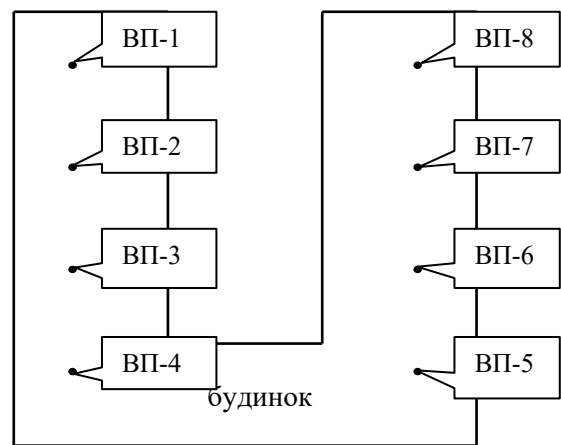


Рис.1. Місця випробування паль.

Fig.1. A place test locations.

Вістря паль опиралось на піски ІГЕ-5. Результати випробування вдавлюваних паль наведено на Рис. 2.

Після аналізу отриманих даних було прийнято рішення виконати серію контрольних випробувань паль для цього ж будинку із збільшенням терміну «відпочинку». Результати повторних статичних випробувань ґрунтів палями наведені на Рис.3.

Як видно з Рис.3 повторні статичні випробування паль із збільшенням терміну «відпочинку» вказують на процес відновлення структурних зв'язків ґрунтів навколо паль.

При збільшенні терміну відпочинку до 6 діб гранична величина осідання палі починає зменшуватись до рівня окремих випробувань проведених через 3 доби. Коли ж термін відпочинку було збільшено до 44 діб величина осідання зменшилась додатково на 30 %.

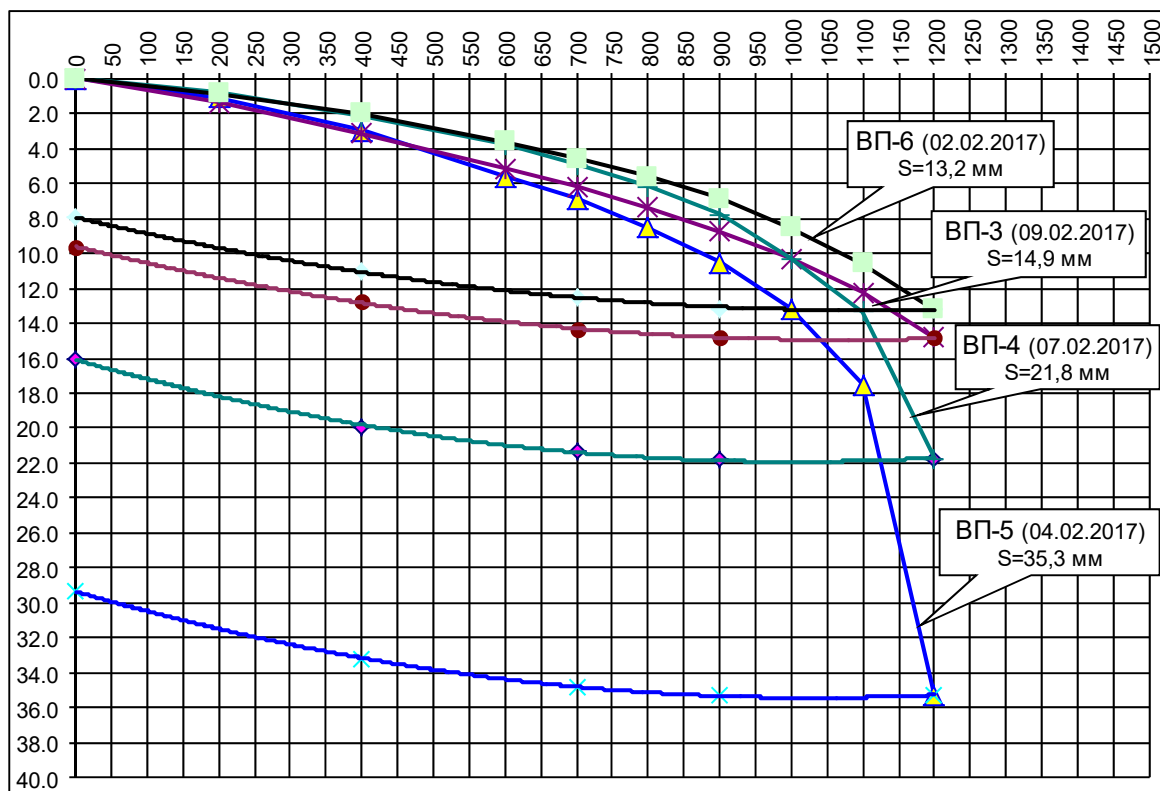


Рис.2. Результати статичних випробувань ґрунтів палями.  
 Fig.2. Results of static soil tests with piles.

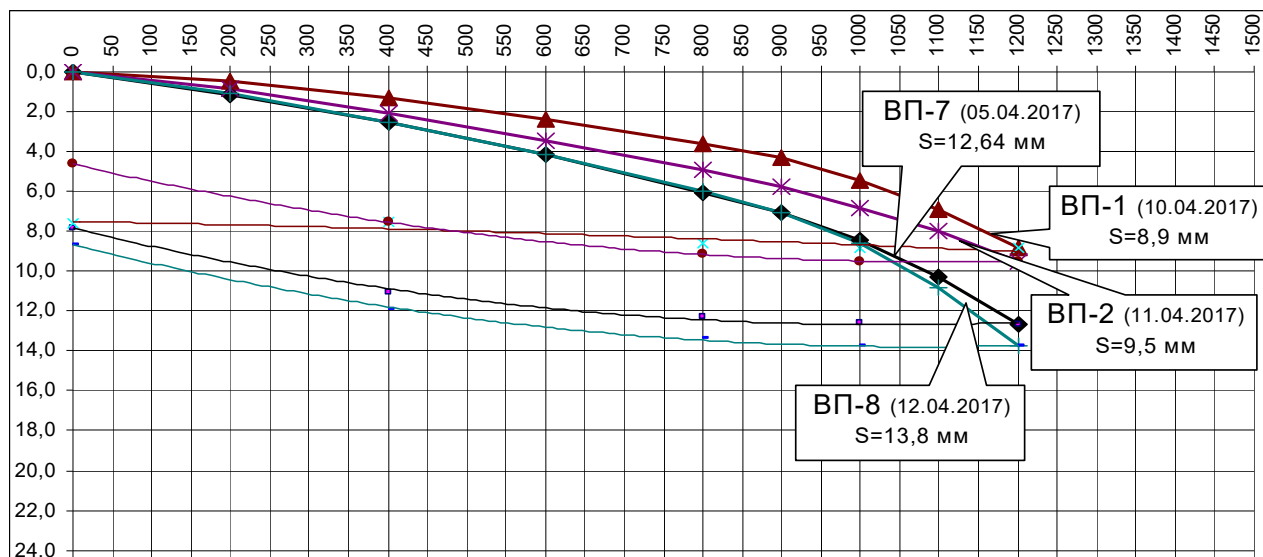


Рис.3. Результати повторних статичних випробувань ґрунтів палями.  
 Fig.3. Results of repeated static soil tests with piles.

Це підтверджує резерв палей по несучій здатності та вказує на необхідність диференційованої оцінки з використанням різних рівнів завантаження (орієнтовно в межах  $\pm$

15% від розрахункової величини, що забезпечує можливі зміни навантажень на палі в процесі експлуатації будівлі). Про подібні зміни вказують і дослідження

польських вчених, що представлені результатами випробувань SPLT и PDA [8]. Ці дослідження ще раз підтвердили необхідність не тільки оновлення стандарту на випробування паль статичним навантаженням, а і врахування при цьому типів паль і методів їх влаштування, врахування регіональних ґрунтових умов та можливої зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів за час експлуатації будівель і споруд як це показано в наших попередніх публікаціях [9].

### ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Виконаний аналіз статичних випробувань паль та врахування всіх факторів, що впливають на підтвердження несучої здатності основи, на майданчику будівництва житлового комплексу дозволив зменшити затрати на виконання робіт нульового циклу. Для отримання прийнятних результатів статичних випробувань термін «відпочинку» паль при статичних випробуваннях необхідно приймати комплексно з урахуванням вище наведених факторів.

У зв'язку з розвитком нових технологій досліджень ґрунтів, з'являється можливість більш достовірного отримання ґрунтових параметрів та оцінки несучої здатності паль з часом. Приймаючи до уваги принципи проектування, приведені в Єврокоді 7, включаючи спостережні методи та контроль за деформаціями ґрунтів по глибині, перед інженером-геотехніком стоїть завдання подальших досліджень та систематизації поведінки паль в різних ґрунтових умовах, що може значно покращити вибір оптимальних рішень для палювих фундаментів різних типів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Барвашов В.А. Методы оценки несущей способности свай при действии вертикальной нагрузки / В.А. Барвашов, Экимян Н.Б., Аршба Э.Т. // *Обзорная информация, выпуск № 2*. – М.: ВНИИС. – 1986. – 69 с.
2. ВБН В.2.1-36-2-2002. Основи і фундаменти будівель та споруд. Підсилення фундаментів будівель та споруд багатосекційними вдав-

- люваними палями. – К.: Укрмонтажспецбуд, 2002. – 38 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-1-95. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи польових випробувань палями. – К.: Укрархбудінформ, 1997. – 57 с.
  4. Корнієнко М.В. Про необхідність коригування стандартів визначення несучої здатності паль в Україні. / М.В. Корнієнко, М.Д. Жердицький, П.В. Павленко, А.М. Ращенко // *Сучасні проблеми технічного регулювання у будівництві: збірник наукових праць*. – К.: КНУБА. – 2016. – Вип. 2. – С. 20-32.
  5. Корнієнко М. В. Про підвищення несучої здатності вдавлюваних паль в глинистих ґрунтах в часі. / М. В. Корнієнко, О. Б. Пресняков // *Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць*. – К: ДП НДІБК. – 2011. – Вип. 75. – Книга 2. С. 331-337.
  6. Корнієнко М.В. Характер ущільнення ґрунту навколо вдавлюваної та забивної напівнатурних паль / М.В. Корнієнко, О.Б. Пресняков, А.М. Ращенко // *Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник* – Одеса: НДІБК. – 2004. – Вип. 61.
  7. Пресняков О.Б. Несуча здатність вдавлюваних паль в піщаних та глинистих ґрунтах: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.02 / О.Б. Пресняков. – Київ, 2005. – 24 с.
  8. Frank R., Bauduin C., Driscoll R., Kavvadas M., Krebs Ovesen N., Orr T. , Schuppener B. (2004) *Designers' guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design - General rules*. London: Thomas Telford, 2016 (in Great Britain).
  9. K. Gwizdała, P. Więclawski (2013) Influence of time on the bearing capacity of precast piles. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXV, No. 4. doi: 10.2478/sgem-2013-0037 (in Polish).

### REFERENCES

1. Barvashov V.A., Ekimyan N.B., Arshba E.T. (1986). *Metody otsenki nesushchey sposobnosti svay pri deystvii vertikal'noy nagruzki* [Methods for assessing the carrying capacity of piles under the action of vertical load]. Overview information, issue No. 2. - M.: VNIIS, 69 (in Russian).

2. Basics and foundations of buildings and structures. Strengthening the foundations of buildings and structures with many sectional pressed piles. VBN V.2.1-36-2-2002. (2002). Kyiv: Ukrmontazhspetsbud, 38 (in Ukrainian).
3. Basics and foundations of buildings and structures. Soils Methods of flight tests by piles. DSTU B V.2.1-1-95. (1997). Kyiv: Ukrahrbudinform, 57 (in Ukrainian).
4. Kornienko M.V., Zherditsky M.D., Pavlenko P.V., Rashchenko A.M. (2016). Pro neobkhdnist koryhuvannya standartiv vyznachennya nesuchoyi zdatsnosti pal v Ukrayini [On the need to adjust the standards for determining the bearing capacity of piles in Ukraine]. Modern problems of technical regulation in construction: a collection of scientific works. Kyiv: KNUBA. V. 2. 20-32. (in Ukrainian).
5. Kornienko M.V., Presnyakov O.B. (2011). Pro pidvyshchennya nesuchoyi zdatsnosti vdavlyuvanykh pal v hlynistykh gruntakh v chasi [About the increase of the bearing capacity of pressed piles in clayey soils in time]. Building constructions: interdepartmental scientific and technical collection of scientific works. Kyiv: NDIBK DP. V. 75. Book 2. 331-337. (in Ukrainian).
6. Kornienko M.V., Presnyakov O.B., Rashchenko A.M. (2004). Kharakter ushchilnennya gruntu navkolo vdavlyuvanoyi ta zabyvnoyi napivnaturnykh pal [The nature of the consolidation of the soil around the pushed and hammering half-tilt piles]. Building structures: interdepartmental scientific and technical collection - Odessa: NDIBK 61. (in Ukrainian).
7. Presnyakov O. B. (2005). Nesucha zdatsnist vdavlyuvanykh pal v pishchanykh ta hlynistykh gruntakh [Bearing ability of pushed piles in sandy and clay soils] the authors abstract. dys. kand. tekhn. nauk.: 05.23.02. Kyiv: KNUBA, 24 (in Ukrainian).
8. Frank R., Bauduin C., Driscoll R., Kavvadas M., Krebs Ovesen N., Orr T. , Schuppener B. (2004) Designers' guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design - General rules. London: Thomas Telford, 2016 (in Great Britain).
9. K. Gwizdała, P. Więclawski (2013) Influence of time on the bearing capacity of precast piles. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXV, No. 4. doi: 10.2478/sgem-2013-0037 (in Polish).

### **Determination of the bearing capacity of the pressed pile with the account of its «rest»**

*Mykola Kornienko,  
Mykhailo Zherditski,  
Petro Pavlenko,  
Tetiana Dyptan*

**Summary.** In this paper, the results of testing the pressed reinforced concrete piles by static loading according to the standard method and repeated tests with the increase of the term "rest" on the construction site of the residential complex in Kyiv are considered. Under existing development, designing and erection of new residential complexes is carried out according to the technology of piling with the exception of the possibility of dynamic action. For today, widespread and proven time is the technology of pushing piles out of the surface of a planned site or with the arrangement of leader wells. The special urgency of this process arises on sites with heterogeneous engineering-geological conditions. To determine the bearing capacity of the soils before the start of the pile field, a number of tests of pilot piles are carried out using existing standards techniques. The same piling tests to confirm their bearing capacity are also being carried out during the construction process.

In the latter case, on the basis of the test results, the bearing capacity of the piles, as a rule, is taken at the smallest value (of the number of piles tested). This objectively leads to a reduction in the bearing capacity of piles, an increase in the cost of construction due to the increase in the number of piles and their length; changes in design features of the design scheme of the building.

The factors influencing the designation of the duration of the "rest" of the pile are noted: peculiarities of the geological structure of the site - changes in characteristics, construction conditions - pace of construction, technology of installation, complicated tests, incorrectly set the standard time of "rest" piles in the soil, in accordance with specific construction conditions. The conclusion is made on the necessity of their integrated consideration when performing the tests.

**Key words.** load bearing capacity, «rest» pile, static tests, injected pile.