

ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.154.546.012.45

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ БУРОНАБИВНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МІКРОПАЛЬ З РІЗНИМИ ДІАМЕТРАМИ ПОШИРЕННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇХ ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

BEARING CAPACITY OF DRILLED REINFORCED CONCRETE MICROPILES WITH DIFFERENT WIDENING DIAMETERS ACCORDING TO THE RESULTS OF THEIR FIELD TESTS

**Гнатюк О. Т., к.т.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0003-2218-0295>,
Лапчук М. А., доцент, <https://orcid.org/0000-0002-9044-2085> (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни)**

**Фабрика Ю. М., к.т.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0002-1745-1356>
(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ),**

**Hnatiuk O. T., PhD, Ass. Prof., <https://orcid.org/0000-0003-2218-0295>,
Lapchuk M. A., Ass. Prof., <https://orcid.org/0000-0002-9044-2085> (Lviv National Environmental University, Dublyany);**

Fabryka Y. M., PhD, Ass. Prof., (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk), <https://orcid.org/0000-0002-1745-1356>

Для дослідження реальної роботи буронабивних залізобетонних мікропаль з поширеною п'ятою були проведені натурні випробування на об'єктах будівництва у різних ґрунтових умовах та проаналізовано їх розрахункову та експериментальну несучу здатність. У даному випадку було досліджено вплив зміни діаметра поширеної п'яти на несучу здатність дослідних зразків мікропаль.

In order to investigate actual operation of reinforced concrete micropiles with a widened heel under load, full-scale field tests were carried out at building sites in various soil conditions and their calculated and experimental load-bearing capacity was analyzed. In this case, the effect of changing the diameter of the widened heel on the bearing capacity of the experimental samples of micropiles was investigated.

As construction practice shows, field static tests directly on the site of the future building are always give more accurate results than their respective calculated values, since they take into account all the inaccuracies in the engineering and geological exploration, and better reflect the operation of the "pile-foundation" system. Field tests of natural piles are control and are

carried out in order to check the load-bearing capacity of the piles with the design load's, which are included in the project, and to obtain data required to justify the choice of foundations, including: determination of pile type and size and their bearing capacity; checking the possibility of placing piles at the specified depth, as well as the relative assessment of the homogeneity of soils behind their resistance to pile immersion; determination of the dependence of the movement of piles into the soil on load and time. To study the operation of drilled reinforced concrete micropiles, it is necessary to conduct full-scale field tests of them and compare the obtained data with the theoretical data obtained as a result of the calculation according to the current standards (DBN and Eurocode №7) [1,2]. The effectiveness and load-bearing capacity of the bored micropile was tested using two experimental studies performed performed in similar soil conditions of one construction site. The testing of experimental samples of micropiles (MP-1 and MP-2) was carried out in order to experimentally check their bearing capacity and deformability of the foundation soils at the level of five piles. The experimental investigations were carried out according to the static indentation scheme. As a result of experimental and theoretical calculations, an underestimation of the bearing capacity of micropiles F_d (30 and 38 %) and the ultimate load N_d (40 and 47 %) on them was established. The analysis of experimental and theoretically determined data showed that in both cases, the experimental values of the bearing capacity and ultimate load on the micropile exceed the calculated values. The data obtained as a result of experimental and theoretical research, presented in the article, make it possible to preliminarily estimate the real bearing capacity of drilled reinforced concrete micropiles.

Ключові слова: визначення, експериментальна, теоретична, несуча здатність, мікропалі, буронабивні, залізобетонні, натурні, польові випробування. definition, experimental, theoretical, bearing capacity, micropile, drilled, reinforced concrete, full-scale, field tests.

Вступ. Як показує практика будівництва, польові натурні статичні випробування безпосередньо на ділянці майбутньої забудови завжди дають точніші результати ніж їхні відповідні розрахункові значення, оскільки враховують усі неточності при проведенні інженерно-геологічної розвідки, та краще відображають роботу системи “палля-основа”. Польові випробування натурних палей є контрольними і здійснюються з метою перевірки несучої здатності палей розрахунковим навантаженням, встановлених в проекті, а також для отримання даних, необхідних для обґрунтування вибору фундаменту, у тому числі:

- визначення виду і розмірів палей та їх несучої здатності;
- перевірка можливості влаштування палей на відмічену глибину, а також відносної оцінки однорідності ґрунтів за їх опором зануренню палей;

- визначення залежності переміщення паль у ґрунт від навантаження і в часі.

Аналіз останніх досліджень. Провідними фахівцями ПП БКФ “Основа” сумісно з кафедрою будівельних конструкцій ЛНУП були розроблені і впроваджені у виробництво буронабивні залізобетонні мікропалі з поширеною п’ятою [1, 5-11]. У відповідності до інженерно-геологічних умов будівельного майданчика та характеру навантаження на них були запроєктовані мікропалі різної конструкції: зі зміною довжини, армування, діаметру стовбура, поширення, способу виготовлення і т. п. Для дослідження їх реальної роботи були проведені натурні випробування на об’єктах будівництва у різних ґрунтових умовах та проаналізовано їх розрахункову та експериментальну несучу здатність. Авторами статті також були проведені дослідження впливу різних параметрів на несучу здатність буронабивних залізобетонних мікропаль з поширеною п’ятою [1, 5, 6, 9, 11]. У даному випадку було досліджено вплив зміни діаметра поширеної п’яти на несучу здатність дослідних зразків мікропаль.

Постановка мети і задач досліджень. Для дослідження роботи буронабивних залізобетонних мікропаль необхідно провести їх натурні польові випробування і порівняти одержані дані з теоретичними, отриманими в результаті виконання розрахунку за діючими нормами (ДБН і Єврокод №7) [2, 3]. Метою досліджень є вивчення впливу діаметру ствола та поширення на несучу здатність дослідних зразків мікропаль.

Задачами досліджень є виготовлення дослідних зразків, польові натурні випробування на дію вертикального втискуючого навантаження, опрацювання результатів досліджень, проведення аналізу роботи експериментальних зразків мікропаль в даних інженерно-геологічних умовах під навантаженням, рекомендації щодо проектування фундаментів з використанням даного типу паль.

Методика досліджень. Для дослідження несучої здатності буронабивних мікропаль з різними діаметрами поширення і стовбура було проведено два натурні експериментальні дослідження, виконані у подібних ґрунтових умовах одного будівельного майданчика. Було виготовлено два дослідних зразка МП-1 з діаметром стовбура 250 мм та поширення 400 мм та МП-2 з діаметром стовбура 200 мм та поширення 350 мм довжиною 3 м в обох випадках.

Згідно результатів інженерно-геологічних досліджень на будівельному майданчику на вул. Кавказькій, 26, несучою основою для паль служив супісок пластичний з такими характеристиками: природна вологість $W = 0,22$, число пластичності $I_p = 0,06$, показник текучості $I_L = 0,17$, щільність $\rho = 1,95$ т/м³, коефіцієнт пористості $e = 0,67$, ступінь вологості $S_r = 0,89$, об’ємна вага $\gamma_I = 18,9$ кН/м³, кут внутрішнього тертя $\varphi_I = 26^\circ$, питоме зчеплення $c_I = 9$ кПа, модуль деформації $E = 15$ МПа. Підземні води

на розвіданій товщі ґрунту зустрінуті не були. Небезпечні геологічні процеси відсутні. Інженерно-геологічні нашарування ґрунтів показані на рис. 1.

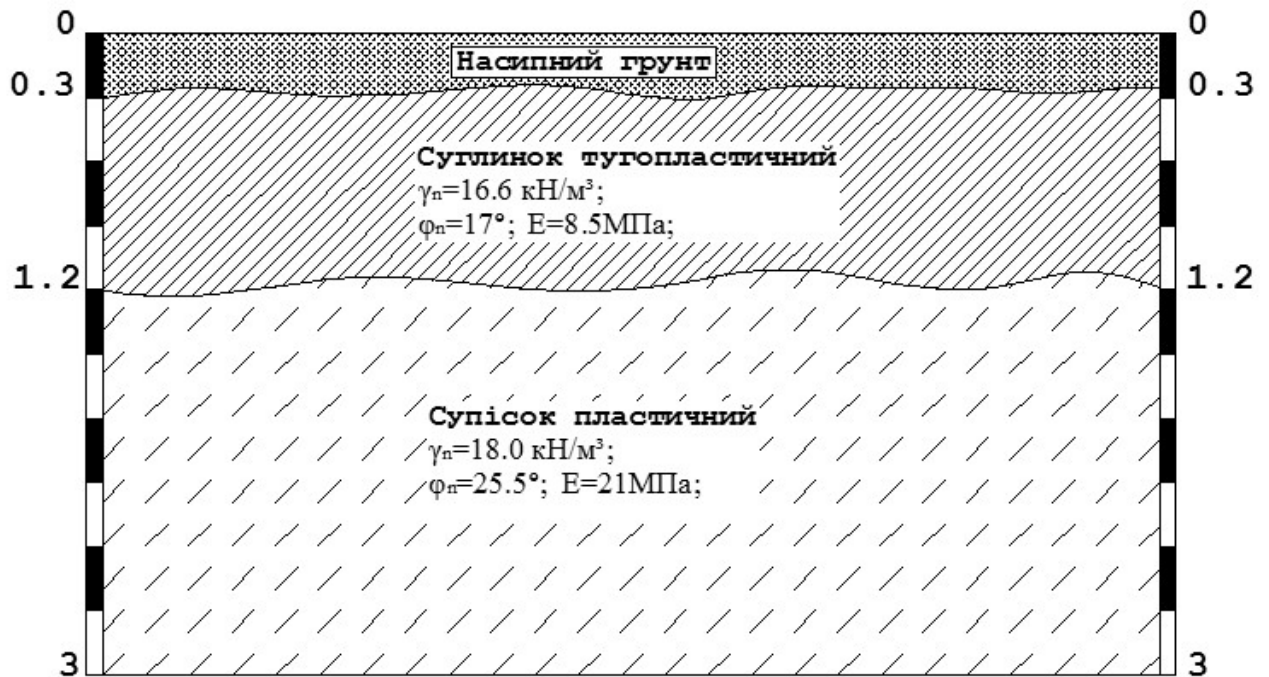


Рис.1 Інженерно-геологічний розріз ділянки випробувань дослідних зразків буронабивних залізобетонних мікропаль

Бетонування паль виконували бетоном класу С 20/25 після встановлення у неї арматурних каркасів з поздовжніх стержнів $\varnothing 10$ класу А 400 С на всю довжину палі та поперечної арматури з дроту $\varnothing 6$ класу А 240 С з кроком 150 мм.

Випробування дослідних зразків мікропаль (МП-1 та МП-2) проводилось з метою експериментальної перевірки їх несучої здатності і деформативності ґрунтів основи на рівні п'яти палі. Польові експериментальні дослідження дослідних зразків мікропаль проводилося згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.1-27:2010 [4] за схемою статичного вертикального вдавлювання. Для польових дослідних випробувань мікропаль було застосовано наступне обладнання: насосна станція НРГ-7080, гідравлічний домкрат ДГ200П150Г для передавання навантаження на мікропаль, розпірна конструкція у вигляді трьох балок для сприйняття реактивних сил від домкрата, 2-х анкерних палі, та 4-х вимірювальних приладів для замірювання переміщень палі. Розпірна конструкція складалась з 2-х упорних і 2-х розподільчих (у випадку 4-х анкерних палі) металевих балок, які з'єднувались між собою за допомогою болтів при монтажі (рис. 2). Всі конструкції розпірної системи були розраховані, запроектовані і виготовлені для навантаження, що на 20 % перевищувало передбачену програмою досліджень величину. Пристрій для навантаження мікропалі забезпечував його центральне прикладення.

Випробування мікропалі проводилось монотонним способом ступінчато зростаючим статичним вдавлюючим навантаженням [4]. Навантаження

прикладалось ступенями, згідно програми випробовувань, але не більше 1/10 заданого найбільшого навантаження на палю.



Рис. 2. Загальний вигляд випробувальної установки та вимірювальних приладів

Навантаження при випробовуваннях доводилося до значення, при якому загальне переміщення оголовка палі складало не менше 40 мм.

Всі дані на кожному ступені навантаження фіксувались у журнал випробувань. В результаті були побудовані графіки осідання дослідних зразків мікропаль МП-1 та МП-2 під дією вертикального втискуючого навантаження (рис. 3).

У відповідності до [4] згідно графіку (рис. 3) несучою здатністю вважається значення навантаження на передостанній ступені при осіданні палі, рівному 4 см. В результаті досліджень встановлено, що експериментальна несуча здатність становила 140кН для МП-1 і 105кН для МП-2.

Результати досліджень. Був проведений також теоретичний розрахунок несучої здатності мікропаль за методикою діючих в Україні норм [2, 3]. Розрахункова схема для визначення несучої здатності експериментальних зразків мікропаль МП-1 та МП-2 приведена на рис. 4. Згідно розрахунку теоретична несуча здатність становила відповідно 111,1 і 87,5 кН. Результати експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків приведені у таблиці.

Аналіз експериментальних та визначених теоретично даних показав, що в обох випадках експериментальні значення несучої здатності та граничного навантаження на мікропалю перевищують розрахункові.

У результаті проведених експериментальних та теоретичних розрахунків встановлена недооцінка несучої здатності мікропаль F_d (30 та 38 %) та допустимого навантаження N_d (40 та 47 %) на них [2, 4].

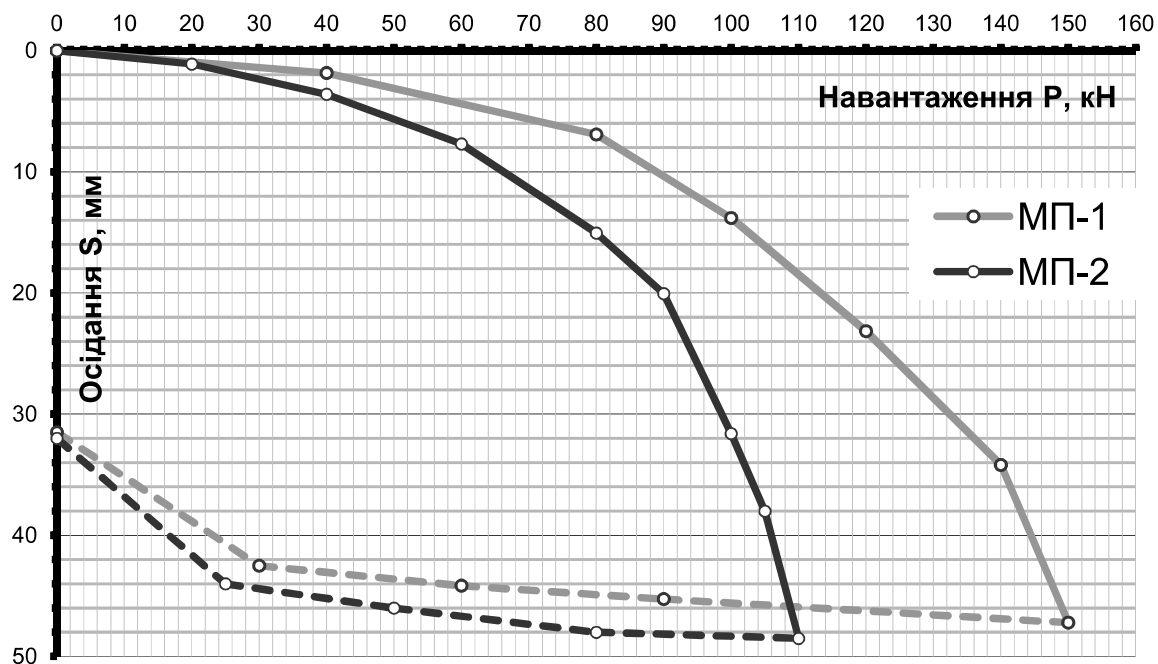


Рис. 3. Графік порівняння осідання мікропаль МП-1 та МП-2 під дією вертикального втискуючого навантаження.

Таблиця.

Результати експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків

Показник	МП-1	МП-2	$\frac{F_{d1}/F_{d2}}{(N_{d1}/N_{d2})}$
Несуча здатність, кН			
Експериментальна, $F_{d,e}$	140	105	1,33
Теоретична, $F_{d,t}$	111,1	87,5	1,27
Допустиме навантаження, кН			
Експериментальне, $F_{d,e}$	116,67	87,5	1,33
Теоретичне, $F_{d,t}$	79,36	62,5	1,27
Відношення			
$F_{d,e}/F_{d,t}$	1,38	1,3	
$N_{d,e}/N_{d,t}$	1,47	1,4	

Одиночну палю у складі фундаменту і поза ним за несучою здатністю ґрунтів основи слід розраховувати з умови: $N \leq N_d = F_d/\gamma_k$, де N_d – розрахункове навантаження, що допускається на палю при визначенні їх кількості в пальному фундаменті; F_d – несуча здатність палі за властивостями ґрунтової основи; γ_k – коефіцієнт надійності, рівний 1,4 у випадку, якщо несуча здатність визначена за розрахунком і рівний 1,2 у випадку, коли несуча здатність визначена за результатами польових випробувань ґрунтів статичним

навантаженням [2, 4].

Висновки. З метою вивчення впливу діаметру ствола та поширення буронабивних залізобетонних мікропаль на їх несучу здатність було проведено польові випробування дослідних зразків МП-1 з діаметром ствола 250 мм та поширення 400 мм та МП-2 з діаметром ствола 200 мм та поширення 350 мм довжиною 3 м в обох випадках.

Отримані в результаті експериментальних та теоретичних досліджень дані, приведені в статті, дають можливість попередньо оцінити реальну несучу здатність буронабивних залізобетонних мікропаль.

Значення несучої здатності мікропаль МП-1 відносно МП-2 перевищувало в 1,33 рази МП-1 за результатами експерименту та в 1,27 рази за теоретичним розрахунком.

Експериментальні значення допустимого навантаження на палю мають більші значення ніж розраховані теоретично: в 1,47 рази для мікропалі МП-1 та в 1,4 рази для МП-2, що дало можливість запроектувати більш економні фундаменти.

За одержаними експериментальними значеннями допустимого навантаження на палю були запроектовані фундаменти котеджної будівлі з використанням мікропаль МП-1 (крок палі 1,6 м) та МП-2 (крок – 1,2 м) та проведено їх техніко-економічне порівняння, згідно якого кошторисна вартість одного погонного метра фундаменту становила 2550 грн у першому випадку та 2860 грн в другому.

Економія коштів при використанні мікропаль більшого діаметру (МП-1) становить 20%. Загалом збільшення діаметру стовбура суттєво не впливає на вартість та трудоемкість виготовлення фундаментів з їх використанням, але згідно діючих норм [2] він не повинен бути меншим ніж 1/2 діаметра поширення.

1. A. Podhorecki, O. Hnatiuk, M. Lapchuk and O. Mazepa. Investigation of bearing capacity of the drill-impact micropiles with enlarged toe in the soils of different type. *6-th World Multidisciplinary Civil Engineering - Architecture - Urban Planning Symposium*, Volume 1203, (2021), No 032054.

2. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. [чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 36 с.

DBN V.2.1-10:2018. Osnovy i fundamenti budivel' ta sporud. [chynnyy vid 2019-01-01]. Vyd. ofits. Kyuyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 2018. 36 s.

3. ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 Єврокод 7 Геотехнічне проектування. Частина 1. Загальні правила (EN 1997-1:2004, IDT). Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 199 с.

DSTU-N B EN 1997-1:2010 Yevrokod 7 Heotekhnichne proektuvannya. Chastyna 1. Zahal'ni pravyla (EN 1997-1:2004, IDT). Kyuyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 2011. 199 s.

4. ДСТУ Б В.2.1-27:2010. Основи та фундаменти споруд. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. [чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 14 с.

DSTU B V.2.1-27:2010. Osnovy ta fundamenti sporud. Pali. Vyznachennya nesuchoyi zdatnosti za rezul'tatamy pol'ovyykh vyprobuvan'. [chynnyy vid 2011-07-01]. Vyd. ofits.

Київ: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 14 s.

5. О. Гнатюк, М. Лапчук. Несуча здатність буронабивних залізобетонних мікропаль з ущільненим забоем на дію вертикального навантаження. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2014. №15. С.101 – 104.

О. Hnatiuk, M. Lapchuk. Nesucha zdatnist' buronabyvnykh zalizobetonnykh mikropal' z ushchil'nenym zaboyem na diyu vertykal'noho navantazhennya. *Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i sil's'kohospodars'ke budivnytstvo*. 2014. №15. S.101 – 104.

6. Гнатюк О., Лапчук М. Холод П. Несуча здатність буронабивних мікропаль з розширеною п'ятою у ґрунтах різного типу. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво*. Львів, 2014. №15. С.73-79.

Hnatiuk O., Lapchuk M. Kholod P. Nesucha zdatnist' buronabyvnykh mikropal' z rozshyrenoyu p'yatoyu u gruntakh riznoho typu. *Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i sil's'kohospodars'ke budivnytstvo*. L'viv, 2014. №15. S.73-79.

7. ПП БКФ Основа [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://_pposnova.lviv.ua.

PP VKF Osnova [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://_pposnova.lviv.ua.

8. Буронабивна мікропала з поширеною п'ятою: декл. пат. № 2003109615. Україна. опубл. 26.05.04, Бюл. № 5. 4с.

Buronabyvna mikropalya z poshyrenoyu p'yatoyu: dekl. pat. № 2003109615. Ukrayina. opubl. 26.05.04, Byul. № 5. 4s.

9. Поширювач свердловин для буронабивних залізобетонних мікропаль. Деклараційний патент на корисну модель № 1824563789. Україна. опубл. 26.03.05, Бюл. № 3. 4с.

Poshyryuvach sverdlovyn dlya buronabyvnykh zalizobetonnykh mikropal'. Deklaratsiynny patent na korysnu model' № 1824563789. Ukrayina. opubl. 26.03.05, Byul. № 3. 4s.

10. М. А. Лапчук, О. Т. Гнатюк, П. Ф. Холод. Результати експериментально-теоретичних досліджень куців буронабивних мікропаль при дії горизонтальних навантажень. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво*. Львів, 2013. №14. С.173-178.

M. A. Lapchuk, O. T. Hnatiuk, P. F. Kholod. Rezul'taty eksperymental'no-teoretychnykh doslidzhen' kushchiv buronabyvnykh mikropal' pry diyi horyzontal'nykh navantazhen'. *Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i sil's'kohospodars'ke budivnytstvo*. L'viv, 2013. №14. S.173-178.

11. Паля: Патент на корисну модель № 151365. Україна. опубл. 13.07.2022, Бюл. № 28. 2с.

Palya: Patent na korysnu model' № 151365. Ukrayina. opubl. 13.07.2022, Byul. № 28. 2s.