

*І.М. Добрянський, д.т.н., професор
О.Т. Гнатюк, к.т.н., доцент, М.А. Лапчук, аспірант
Львівський національний аграрний університет
О.М. Мазепа, директор ПП БКФ «Основа»
П.Ф. Холод, к.т.н., доцент
Інститут будівництва та інженерії довкілля
Національний університет «Львівська Політехніка»*

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КУЩІВ БУРОНАБИВНИХ МІКРОПАЛЬ ПРИ ДІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Показано результати експериментальних випробувань кущів мікропаль з різними видами штучних підсипок різної висоти на дію горизонтальних навантажень та приведено залежність переміщень від дії зсувних зусиль.

Ключові слова: фундаменти, горизонтальне навантаження, буронабивні мікропалі, підпірні стіни.

*И.М. Добрянский, д.т.н., профессор
А.Т. Гнатюк, к.т.н., доцент, Н.А. Лапчук, аспирант
Львовский национальный аграрный университет
А.М. Мазепа, директор ЧП СКФ «Основа»
П.Ф. Холод, к.т.н., доцент
Институт строительства и инженерии окружающей среды
Национальный университет «Львовская Политехника»*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КУСТОВ БУРОНАБИВНЫХ МИКРОСВАЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Показаны результаты экспериментальных испытаний кустов микросвай с разными видами искусственных подсыпок разной высоты на действие горизонтальных нагрузок и приведена зависимость перемещений от действия усилий сдвига.

Ключевые слова: фундаменты, горизонтальные нагрузки, буронабивные микросваи, подпорные стены.

*I.M. Dobriansky, PhD., professor
O.T. Gnatyuk, Ph.D., M.A. Lapchuk, postgraduate
Lviv National Agrarian University
O.M. Mazepa, director of private enterprise BKF «Osнова»
P.F. Cholod, Ph.D., associate professor
Institute of Construction and Environmental Engineering
National University "Lviv Polytechnic"*

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES BUSHES BORED MICROPILES UNDER THE ACTION OF HORIZONTAL LOADS

The article highlights the results of experimental testing of micropiles clusters with various types of artificial addings of various heights concerning their effects on horrisontal loading. The dependence of shifting efforts is proved.

Keywords: foundations, horizontal load, drilled micropiles, retaining walls.

Вступ. Сучасний період розвитку будівельного виробництва в Україні характерний суттєвим збільшенням нового будівництва та значним обсягом робіт з реконструкції існуючих будівель і споруд у місцях суцільної забудови міст та промислових об'єктах, і тому палі при підсиленні фундаментів мають широке застосування.

Будівельна практика показала, що заміна масивних фундаментів на природній основі пальовими фундаментами дозволяє одержати значну економію коштів, у тому числі: у 2 – 3 рази зменшити об'єм земляних робіт, більше ніж удвічі скоротити витрати бетону на влаштування фундаментів, зменшити трудомісткість робіт.

При реконструкції будинків надзвичайно важливою є проблема ефективного і надійного влаштування нових та посилення існуючих фундаментів. У будівельній практиці для розв'язання цих завдань застосовують: різні способи закріплення основ фундаментів; збільшення площі опирання фундаментів добетонуванням; влаштування бетонних та залізобетонних обойм; влаштування суцільних залізобетонних плит на окремих ділянках чи під цілим будинком, а також передачі додаткового навантаження на палі, що виготовляються вдавленням багатосекційних збірних залізобетонних елементів, або буроін'єкційним чи буронабивним способом.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Принципами роботи фундаментів (а саме буронабивних мікропаль) у ґрунтах різного типу та при різних навантаженнях частково описували у своїх спрацях М.Ю. Шеменков, В.А. Бабенко, А.В. Єсіпов, Н.В. Купчикова, В.І. Терновий, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, С.А. Слюсаренко тощо. Специфікою роботи представлених конструкцій – буронабивних мікропаль з поширеною п'ятою є врахування спільної роботи штучної щєбеневої, гравійної та інших підсіпок з тілом як окремо стоячих, так і куща паль, їх пружно-деформівного стану та подальші рекомендації при влаштуванні підпірних стінок наведеної конструкції.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Використання пальових фундаментів при реконструкціях ускладнюється тим, що немає можливості використання великогабаритних машин і механізмів. Тому, особливо у випадках складних інженерно-геологічних умов, достатньо ефективним може бути використання мікропаль, які виготовляються за допомогою малогабаритного обладнання.

Постановка завдання. На практиці будівництва при заміні в межах зони можливих значних ущільнень і зон зсувів під фундаментом слабого ґрунту на малостисливий з відносно високим опором зсуву, робота ґрунтів основи значно поліпшується. Актуальність теми зумовлена потребою визначення несучої здатності пальових фундаментів на горизонтальний зсув (при роботі наведених конструкцій паль як підпірних стін), що дало б змогу порівняти роботу кущів паль на горизонтальні зсувні навантаження

зі щебеневою підсипкою з аналогічними конструкціями у звичайних ґрунтових умовах без будь-якої підсипки. Це у свою чергу прискорило б улаштування паль за допомогою нескладного портативного механічного обладнання при реконструкціях, підсиленнях існуючих фундаментів і новому будівництві у місцях суцільної забудови.

Метою досліджень є розроблення методики оцінювання роботи залізобетонних мікропаль із розширеною п'ятою та визначення залежності їх несучої здатності при штучній щебеневої підсипці.

Завдання досліджень:

– розробити ефективні конструкції підпірних стінок з використанням залізобетонних мікропаль з максимально високою несучою здатністю й мінімальною витратою матеріалів і спрощеною технологією їх виготовлення;

– експериментально дослідити роботу мікропаль з використанням щебеневої підсипки на горизонтальні зсувні навантаження;

– розробити пропозиції щодо розрахунку і проектування підпірних стінок з використанням залізобетонних мікропаль та щебеневої підсипки.

Основний матеріал і результати. На кафедрі будівельних конструкцій ЛНАУ було розроблено й упроваджено в реальне будівництво нову ефективну технологію виготовлення буронабивних мікропаль із поширеною п'ятою [1, 2], які виготовляють буронабивним способом у вигляді стрижня круглого поперечного перерізу діаметром до 250 мм із бетону літої консистенції з арматурним каркасом і поширеною до двох діаметрів п'ятою конусоподібної форми та влаштовується у свердловині, виконаній способом шнекового буріння без обсадних труб та розроблено методику досліджень їх роботи при дії горизонтальних зсувних навантажень зі щебеневою підсипкою.

Для випробувань було виготовлено три куці паль: дві буронабивні залізобетонні мікропалі діаметром 200 мм, об'єднані залізобетонним ростверком з розміром поперечного перерізу 500x300 мм, та чотири буронабивні залізобетонні мікропалі діаметром 175 мм, 200 мм, об'єднані двома залізобетонними ростверками з розміром поперечного перерізу 500x350 мм. До випробування в зоні розташування ростверків було вибрано ґрунт на глибину 0,5 м та засипано щебенем (1 – 4-го класів міцності з крупністю зерен 5 – 20 мм незалежно від групи гірських порід) та гравієм (для дослідів № 1, № 3 та № 2 відповідно). Для гравійного щебеню 4-го класу допускається крупність зерен 5 – 20 мм. Щебінь повинен задовольняти вимоги ГОСТ 8267–75. Допустиме використання щебеню для підсипки після проміжного складування, якщо після цього вміст фракцій, дрібніших ніж 5 мм, не буде перебільшувати в гравійному щебені 10% і в гранітному – 15% (по масі), (рис. 1,а).

Випробування натурних дослідних зразків куців мікропаль проводилося з метою експериментальної перевірки їх несучої здатності на дію

горизонтальної сили, визначення залежності горизонтального переміщення паль у ґрунтах зі штучною підсипкою різного типу від навантажень.

Експериментальні (польові) випробування проводилися згідно з вимогами нормативного документа [3] за схемою статичного горизонтального навантаження.

Випробування проводилося монотонним способом – ступінчасто зростаючим навантаженням. Ступені навантаження були прийняті величиною 1/10 найбільшої величини очікуваного навантаження. Кожний ступінь навантаження витримувався до умовної стабілізації навантаження, яке згідно з вимогами норми [3, п. 8.2.3] для цих ґрунтових умов становить 0,1 мм за останні 60 хв спостережень. Зсув куща паль вимірювався двома прогиномірами системи Аістова із ціною поділки 0,01 мм, розташованими у двох діаметрально протилежних точках верху ростверка (П-1 та П-2). Випробування проводилося до досягнення рекомендованої величини зсуву палі, яка за вимогою нормативного документа [3, п. 8.2.4] прийнята 40 мм.

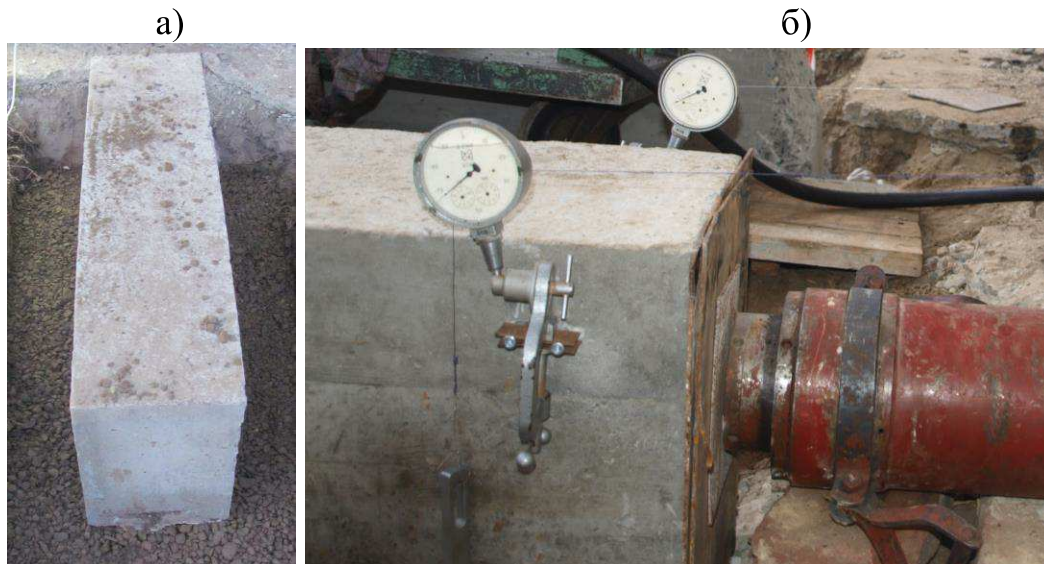


Рис. 1. Схема випробування дослідних зразків кущів мікропаль на дію горизонтального навантаження: а) підсипка гравієм дослідного зразка; б) загальний вигляд вимірювальних приладів

У комплект обладнання для випробування кущів мікропаль входили: насосна станція НСР-400, гідравлічний домкрат М400 для завантаження. До комплекту засобів вимірювальної техніки входили: манометр пружинний ДОСМ-3-5 з індикатором годинникового типу, прогиноміри системи Аістова (ціна поділки 0,01 мм) – 2 шт. (рис. 1,б). Випробування мікропалі проводилося монотонним способом ступінчасто зростаючим статичним вдавлюючим навантаженням відповідно до рекомендацій [3].

Вдавлююче зусилля домкрата визначалося за показаннями манометра насосної станції. Перед початком випробувань домкрат тарувався на гідравлічному пресі, який пройшов перевірний контроль. Горизонтальний зсув мікропаль вимірювався двома прогиномірами системи Аістова з ціною

поділки 0,01 мм, розташованими у двох діаметрально протилежних точках оголовка мікропалі (П-1 та П-2).

Результати випробувань заносилися до журналу. Після підрахунку деформацій будувалися графіки залежності деформації від навантаження згідно з вимогами [3].

У результаті випробувань і з урахуванням стабілізації осідання паль на всіх ступенях завантаження величина максимального навантаження на:

– куц палі № 1 (КМП-1) дорівнювала $P_u = 160 \text{ кН} = 16 \text{ т}$. Зсув куца палі при цьому становив 28,55 мм. Збільшення навантаження до 17 т на наступному етапі призвело до перевищення граничного значення осідання 40 мм;

– куц палі № 2 (КМП-2) дорівнювала $P_u = 80 \text{ кН} = 8 \text{ т}$. Зсув при цьому становив 33,86 мм;

– куц палі № 3 (КМП-3) дорівнювала $P_u = 130 \text{ кН} = 13 \text{ т}$. Зсув куца палі при цьому становив 31,24 мм. Збільшення навантаження до 14 т на наступному етапі призвело до перевищення граничного значення осідання 40 мм.

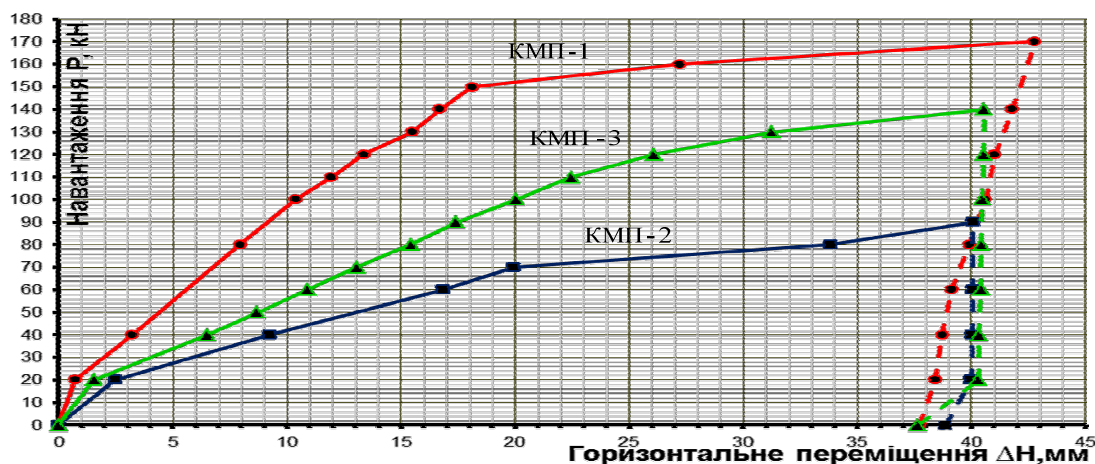


Рис. 2. Графік залежності деформації (горизонтального переміщення) від прикладеного навантаження $h=f(P)$ для дослідних зразків КМП № 1, 2, 3

Проведене порівняння роботи мікропаль у куці зі штучною підсіпкою показало, що горизонтальний зсув у досліді № 2 близько удвічі менший за дослід № 1 (рис 2).

Защемлення паль у ґрунті обумовлюється розвитком по глибині реактивних зусиль опору ґрунту і спробою палі повернутися навколо деякої точки – точки нульових переміщень (O_x) або умовного защемлення – глибини від рівня ґрунту, на якій величина горизонтального переміщення палі дорівнює нулю. Точці умовного защемлення відповідає найбільше значення величини реактивного опору ґрунту. Відповідно зі зростанням зусилля точка умовного защемлення знижується.

Розрахункову несучу здатність визначаємо згідно із чинними нормами при одностадійному розрахунку палі (перша стадія). На цій стадії ґрунт, який оточує палю, розглядають як пружне лінійно-деформоване середовище, котре характеризується коефіцієнтом C_z

$$C_z = K \cdot z / \gamma_c, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, кН/м⁴, приймається залежно від ґрунту, який оточує палю;

z – глибина розташування перерізу палі в ґрунті, м;

γ_c – коефіцієнт умов роботи, який приймається таким, що дорівнює 1,3.

Таблиця 1. Порівняння горизонтальних переміщень куців мікропалі КМП-1, КМП-2, КМП-3 від горизонтального навантаження на рівні його прикладання

Наванта-ення Н, кН	Горизонтальні деформації Δ , мм		
	Дослід № 1 (КМП-1) ($\ell_0=1$ м)	Дослід № 2 (КМП-2) ($\ell_0=0,5$ м)	Дослід № 3 (КМП-3) ($\ell_0=0$ м)
	на рівні приладів П1 і П2, $\Delta_1, 12$	на рівні приладів П1 і П2, $\Delta_2, 12$	на рівні приладів П1, П2, $\Delta_3, 12$
0	0	0	0
10	0,295	0,39	1,45
20	0,385	2,415	1,545
30	0,71	2,455	6,27
40	3,21	8,91	6,53
50	4,27	9,26	8,52
60	5,19	16,53	10,88
70	5,415	19,96	13,05
80	7,93	33,85	15,43
90	8,995		17,42
100	10,37		20,03
110	11,94		22,46
120	13,36		26,09
130	15,48		31,24
140	16,09		
150	18,1		
160	28,55		

Розрахунки палі за деформаціями, що включає перевірку дотримання умов допустимості розрахункових значень горизонтального переміщення голови палі й кута її повороту ψ_p

$$u_p \leq i_{ш}; \quad (2)$$

$$\psi_p \leq i_{\psi}; \quad (3)$$

де ψ_p і u_p – розрахункові значення відповідно горизонтального переміщення голови палі, м, і кута її повороту.

Розрахунки паль за граничними станами двох груп виконуються з використанням таких параметрів: наведеної глибини розташування перетину палі в ґрунті, наведеної глибини занурення палі в ґрунт z

$$z = z \alpha_\varepsilon. \quad (4)$$

Розрахункові значення горизонтального переміщення палі в рівні підосви ростверку u_p , м, слід визначати за формулою

$$u_p = u_o + \psi_{110} + Hl^3/3EI + Ml^2/2EI = u_o + \psi_{110} + Hl^3/3EI + Ml^2/2EI, \quad (5)$$

де H , M – розрахункові значення поперечної сили (кН), і згинального моменту (кН·м), що діють на голову палі;

l – довжина ділянки палі, м, яка дорівнює відстані від підосви ростверку до поверхні ґрунту;

E , I – модуль пружності матеріалу палі та момент інерції поперечного перерізу палі;

u_o , ψ_o – горизонтальне переміщення (м) і кут повороту поперечного перерізу палі (рад), на рівні поверхні ґрунту при високому ростверку, а при низькому ростверку – на рівні його підосви, при дво- та одностадійному розрахунку паль.

При одностадійному розрахунку паль горизонтальне переміщення u_0 (м) і кут повороту ψ_0 (рад) необхідно визначати за формулами

$$U_0 = H_0 \varepsilon_{nm} + M_0 \varepsilon_{nm};$$

$$\psi_0 = H_0 \varepsilon_{m\theta} + M_0 \varepsilon_{m\theta};$$

де H_0 , M_0 – розрахункові значення відповідно поперечної сили (кН) і згинального моменту (кН·м), в розглядуваному перерізі палі, які приймаються рівними $H_0 = H$ і $M_0 = M + Hl$ (тут l_0 – відстань від дна котловану до точки прикладання навантаження; H і M – розрахункові значення поперечної сили, кН, і згинального моменту, кН·м, які діють на голову палі;

ε_{nm} , $\varepsilon_{m\theta}$ – горизонтальні переміщення перерізу від дії сили $H=1$ та моменту $M=1$ відповідно, яка прикладена на рівні поверхні ґрунту, м/кН;

$\varepsilon_{m\theta}$, ε_{mm} – кути повороту перерізу від дії сили $H=1$ та моменту $M=1$ відповідно, 1/кН.

Аналізуючи наведені в таблиці та на графіках дані теоретично встановлюємо, що:

– розрахункові значення горизонтального переміщення для граничного значення несучої здатності $H=24,24$ кН дорівнюють на рівні розташування приладів П1 та П2 $u_p = 36,5$ мм для дослідів №1; $H=192$ кН, $u_p = 39,3$ мм, – для дослідів № 2; $H=220$ кН, $u_p = 38,2$ мм. – для дослідів № 3 відповідно;

– розрахункові тиски досягають нуля на глибині: $z = 2,7$ м – КМП-1; $z = 2,4$ м – КМП-2; $z = 3,2$ м – КМП-3 на всіх стадіях навантаження;

– розрахункові згинальні моменти досягають мінімального значення у передруйнівній стадії. Для КМП-1: $H = 200$ кН, $M_z = 0,64$ кНм; для КМП-2: $H = 192$ кН, $M_z = 0,87$ кНм; для КМП-3: $H = 220$ кН, $M_z = 0,72$ кНм на рівні підосв кущів паль.

Таблиця 2. Несуча здатність мікропаль від навантаження Р для дослідів № 1 (КМП-1), № 2 (КМП-2) та № 3 (КМП-3)

Номер досліду	Визначені практично		Визначені теоретично		Відношення	
	F _п	N _п	F _т	N _т	F _п /F _т	N _п /N _т
№ 1	160	133,3	200	142,8	0,8	0,93
№ 2	80	66,7	192	137,1	0,4	0,48
№ 3	130	108,3	220	157,1	0,59	0,68

Висновки. Запропонована конструкція куців мікропаль є ефективною при використанні її як підпірної стінки. У результаті порівняння встановлено, що теоретично обчислені значення деформацій є дещо більшими від відповідних значень, отриманих експериментально.

Результати експериментальних досліджень указують на те, що при влаштуванні підпірних стінок рекомендовано влаштовувати штучну подушку з грубоуламкових матеріалів та приймати мінімальну товщину шару підсіпки відповідно до конструктивних вимог.

Література

1. Деклараційний патент на винахід № 2003109615. Україна. Буронабивна мікропаль з поширеною п'ятою / Гнатюк О.Т., Мазепа О.М., Ониськів Б.М. – 4 с. іл.; опубл. 26.05.2004, Бюл. № 5.
2. Деклараційний патент на корисну модель № 1824563789. Україна. Поширювач свердловин для буронабивних залізобетонних мікропаль / Добрянський І.М., Ванкевич П.І., Гнатюк О.Т., Мазепа О.М., Ониськів Б.М. – 4 с. іл.; опубл. 26.03.2005, Бюл. № 3.
3. ДСТУ Б В.2.1– 95 (ГОСТ 5686-94). Ґрунти. Методи польових випробувань палями/ Державний комітет України у справах містобудування та архітектури.– К.: Укрархбудінформ, 1997. – 57 с.
4. Застосування буронабивних мікропаль з поширеною п'ятою при реконструкції будинків в умовах суцільної забудови / Ониськів Б., Гнатюк О., Мазепа О., Ванік М. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск № 16.– Одеса, 2004. – С. 171 – 181.
5. Ефективний спосіб влаштування нових та підсилення існуючих фундаментів буронабивними мікропальми / Добрянський І., Гнатюк О., Ониськів Б., О.М. Мазепа // Вісник Львівського державного аграрного університету: сер. Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – Львів, 2004. – № 5. – С.122 – 126.
6. Економічна ефективність влаштування фундаментів з використанням анкерних буронабивних мікропаль порівняно з іншими фундаментами / О. Гнатюк, М. Лапчук // Вісник Львівського державного аграрного університету: сер. Архітектура і сільськогосподарське будівництво – Львів, 2011. – № 12. – С.75 – 83.

Надійшла до редакції 04.10.2013

© І.М. Добрянський, О.Т. Гнатюк, М.А. Лапчук, О.М. Мазепа, П.Ф. Холод