

УДК 624.154.54

к.т.н., доцент О.Т. Гнатюк,
Львівський національний аграрний університет
О.М. Мазепа, ПП БКФ “Основа”, к.т.н., доцент П.Ф.Холод,
Національний університет “Львівська політехніка”

НАТУРНІ ВИПРОБОВУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ МІКРОПАЛЬ У РІЗНИХ ГРУНТОВИХ УМОВАХ

Описується конструкція, технологія влаштування і методика натурних експериментальних досліджень роботи буронабивних залізобетонних мікропаль з поширеною п'ятою та проведений аналіз цих досліджень.

Ключові слова: мікропалля з поширеною п'ятою, допустиме навантаження на мікропалю, технологія влаштування мікропаль.

Вступ

У вітчизняній і зарубіжній практиці фундаментобудування відомо більше 150 видів палей, які відрізняються між собою за матеріалом, з якого вони виконані, конструкцією, видом армування, способом їх влаштування, характером роботи у ґрунті. У залежності від конкретних інженерно-геологічних умов і конструктивних особливостей будівель можуть бути вибрані різні типи палей і технологій для влаштування фундаментів. У даній публікації описується конструкція буронабивних залізобетонних мікропалей з поширеною п'ятою, розроблених авторами статті [1], досвід їх використання на реальних об'єктах та результати їх експериментальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Із теорії відомо, що мікропалі представляють собою малі залізобетонні палі прямокутного або трапецеїдального поперечного перетину площею до 300 см² і довжиною в основному від 2,5 до 5,5 м. Глибина, на яку влаштовуються мікропалі визначається ґрунтовими умовами і навантаженнями від будівлі з урахуванням надійності анкерування палей при морозному пучінні ґрунту. Призначення мікропалей може бути досить різноманітним, зокрема: влаштування економічних фундаментів малоповерхових будівель з навантаженнями на стіни до 100-120 кН/м (садибні будинки, дачі, котеджі, службово-технічні будівлі, споруди з легких сталевих металокопункцій і ін.), фундаментів окремих стовпів і опор, огорож, дорожніх знаків, а також закріплення ґрунтових масивів і укосів, а також посилення фундаментів існуючих будівель.

Технологія влаштування мікропаль останнім часом користується великим попитом. І це не дивно, адже вона дає можливість виготовлення мікропаль за допомогою міні техніки в стиснутих умовах міської забудови з обмеженим доступом, підвальних приміщеннях та інших важкодоступних місцях. У результаті заміни мікропалями традиційних блокових або монолітних фундаментів на природній основі знижується витрата цементу і бетону в 3,5 рази. Найбільш ефективним є застосування мікропаль при заляганні в приповерхневих шарах на глибинах до 1,6-3,0 м слабких, водонасичених, насипних, заболочених, мулистих ґрунтів, а також м'яко- і текучопластичних пилувато-глинистих ґрунтів, що підстилаються міцнішою основою.

Для вирішення вищеописаних завдань було розроблено і впроваджено у виробництво новий економічний і технологічний тип залізобетонних мікропаль з поширеною п'ятою, виготовлених з допомогою нескладного портативного обладнання при влаштуванні нових і підсиленні існуючих фундаментів будинків.

Найбільш близькою за технічною суттю до запропонованого винаходу є мікропаль діаметром 150÷250 мм фірми "SOLETANGE BACHY" у вигляді стрижня круглого поперечного перерізу, виготовлена буроін'єкційним способом із бетону з арматурним каркасом влаштована у свердловинах, пробурених шнековим способом без обсадних труб [2]. Проте палі при таких невеликих діаметрах (до 250 мм) у звичайних ґрунтових умовах мають невисоку несучу здатність, особливо при малих значеннях тертя по боковій поверхні. Окрім цього, влаштування буроін'єкційних паль вимагає дорогого і великогабаритного обладнання для подачі бетонної суміші у свердловину, що значно ускладнює технологію їх виготовлення.

Мета та задачі досліджень

В основу розробки було поставлене завдання виготовлення мікропаль високої несучої здатності з мінімальною витратою матеріалів і спрощення технології їх виготовлення. Поставлена задача вирішується тим, що буронабивна мікропаль з поширеною п'ятою, що виготовляється у вигляді стрижня круглого поперечного перерізу із залізобетону діаметром до 150÷250 мм і має п'яту конусоподібної форми з поширенням у нижній частині (від одного до двох діаметрів стрижня) і виконана суцільнолитою буронабивним способом безпосередньо в місці влаштування фундаменту. Поширення п'яти в нижній частині мікропалі дозволяє за рахунок збільшення площі опирання значно підвищити її несучу здатність. Виготовлена безпосередньо на місці влаштування за допомогою нескладного портативного механічного обладнання буронабивна мікропаль придатна для використання її в умовах обмеженого

доступу (наприклад, у підвальних приміщеннях) та у складних інженерно-геологічних умовах (наприклад, на схилах пагорбів), її використання доцільне на забудованих територіях для запобігання динамічному впливу на прилеглі споруди.

Аналіз отриманих результатів

На рис.1 представлена конструкція буронабивної мікропалі у вигляді стрижня 1 круглого поперечного перерізу із поширеною п'ятою 2 конусоподібної форми із бетону з арматурним каркасом 3. На рис.1б представлена послідовність виготовлення буронабивних мікропаль із поширеною п'ятою.

Буронабивну мікропалю виготовляють таким чином. Способом шнекового буріння без обсадних труб влаштовують свердловину. Зачищають дно свердловини і влаштовують її поширення від одного до двох діаметрів стрижня в межах нижнього кінця свердловини механічним способом за допомогою розширювача свердловин для буронабивних мікропаль і заповнюють свердловину бетоном літкої консистенції. Після тужавіння бетону утворюється суцільнолита мікропала у вигляді стрижня 1 круглого поперечного перерізу діаметром 150÷250мм з арматурним каркасом 3, яка має п'яту 2 з поширенням у нижній частині (від одного до двох діаметрів стрижня).

Ефективність і несучу здатність запропонованої конструкції буронабивної мікропалі з поширеною п'ятою перевірено за допомогою натурних експериментальних досліджень. Випробування були проведені з метою впливу поширення на несучу здатність мікропаль вище описаної конструкції на ділянці будівництва житлового комплексу по вул. Головацького, 24, у м. Львові [5]. Було виготовлено 2 буронабивних залізобетонних мікропалі П1 та П2 діаметром стрижня 250мм та довжиною 6,0 м. Мікропала П1 була виготовлена без поширення, мікропала П2 була виготовлена з поширеною п'ятою конусоподібної форми діаметром 350мм. Несучою основою для мікропаль був пісок середньої зернистості з такими розрахунковими характеристиками: $e = 0,66$; $S_r = 0,39$; $\gamma_1 = 17,4 \text{ кН/м}^3$; $\phi_1 = 29^\circ$. Інженерно-геологічні умови ділянки були ускладнені присутністю насипних ґрунтів потужністю 2,7-4,0м. Випробування мікропаль проводилось за схемою статичного вдавлювання монотонним способом ступінчато-зростаючим навантаженням згідно [3]. У результаті випробувань, враховуючи стабілізацію осідання паль на всіх ступенях навантаження, експериментальна несуча здатність мікропаль була визначена, виходячи з рекомендованого [3] граничного показника осідання мікропаль 40мм, і дорівнювала 74,4кН для мікропалі П1 та 188кН для мікропалі П2.

Розрахункове значення несучої здатності буронабивних залізобетонних мікропалі було визначено за п. 4.6 [4] як суму несучих здатностей за рахунок поширення і за рахунок тертя по боковій поверхні з врахуванням коефіцієнта надійності при визначення її несучої здатності за результатами розрахунку $\gamma_k=1,4$ і становить $N_d=72,5/1,4=51,76$ кН для мікропалі П1 та $N_d=96,0/1,4=68,6$ кН для мікропалі П2. Допустиме максимальне навантаження на мікропалю з врахуванням коефіцієнта надійності при визначення її несучої здатності за результатами польових випробовувань статичним навантаженням $\gamma_k=1,2$ і буде рівним 62кН для мікропалі П1 та 156,7 для мікропалі П2.

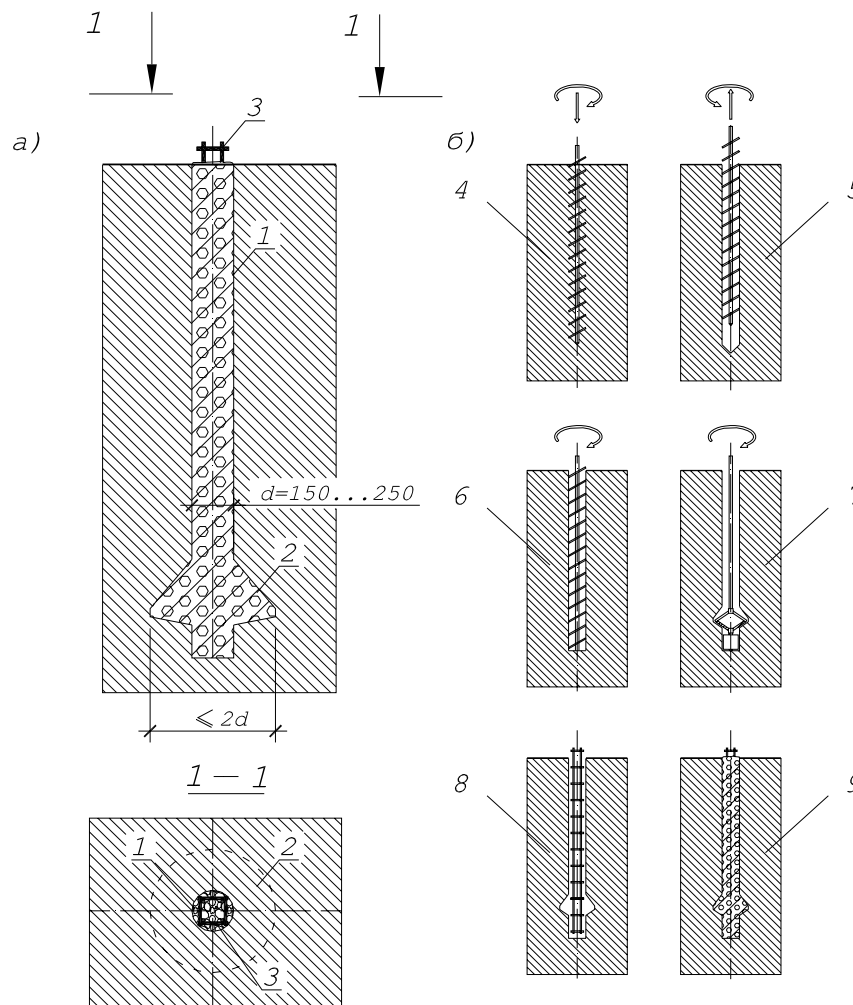


Рис. 1. Буронабивна мікропалля із поширеною п'ятою: а) конструкція буронабивної мікропалі; б) технологічна послідовність виготовлення влаштування; 1 – буронабивна мікропалля; 2 – поширена п'ята; 3 – арматурний каркас; 4 - буріння свердловини; 5 - виймання бура; 6 - зачистка забою свердловини; 7 - влаштування поширення; 8 - опускання в свердловину арматурного каркасу; 9 - заповнення свердловини бетоном.

Експериментальна несуча здатність перевищувала розрахункове її значення в 1,2 рази для мікропалі П-1 та у 2,28 для мікропалі П2. Експериментальна несуча здатність мікропалі П1 перевищувала її значення для

мікропалі П2 у 2,5 рази, що засвідчувало надійну роботу запропонованої конструкції буронабивної залізобетонної мікропалі з поширеною п'ятою.

З метою дослідження впливу довжини висячої буронабивної мікропалі з поширенням на її несучу здатність були проведені експериментальні випробування натурних зразків мікропаль на території лабораторії будівельних конструкцій ЛДАУ. Було виготовлено 3 дослідних залізобетонних мікропалі діаметром 170мм з поширенням діаметром 350мм загальною довжиною 3(мікропалі П3), 4(П4) і 5(П5) метрів, а також анкерні палі довжиною 5 метрів. Під час буріння свердловин було виявлено, що до глибини 1,5 м залягають насипні ґрунти з домішками будівельних і твердих побутових відходів, нижче – супіски, з яких були взяті проби зразків ґрунтів для їх лабораторного аналізу. Лабораторні дослідження показали, що ґрунт, який є основою мікропаль – супісок пластичний з такими розрахунковими характеристиками: $I_L = 0,3$; $e = 0,7$; $S_r = 0,88$; $\gamma_I = 19 \text{ кН/м}^3$; $\varphi_I = 20^\circ$. У насипному ґрунті дослідні мікропалі були виготовлені в опалубці з пластикової труби, яка зводила до мінімуму тертя по боковій поверхні у цьому шарі і тому воно не приймалося до уваги в розрахунку.

Розрахункову та експериментальну несучу здатність несучу здатність буронабивних залізобетонних мікропаль було визначено аналогічно, як і в попередньому випадку для мікропаль П1 та П2. Розрахункову несучу здатність мікропаль було визначено як суму несучих здатностей за рахунок поширення і за рахунок тертя по боковій поверхні і становило:

$$F_d = F_{d,R} + F_{d,f} = 38,4 + 5,4 = 43,8 \text{ кН для мікропалі П3,}$$

$$F_d = F_{d,R} + F_{d,f} = 44,2 + 15,4 = 59,6 \text{ кН для мікропалі П4,}$$

$$F_d = F_{d,R} + F_{d,f} = 49,9 + 26,8 = 76,7 \text{ кН для мікропалі П5.}$$

Допустиме розрахункове навантаження на мікропалю з врахуванням коефіцієнта надійності $\gamma_k = 1,4$ становило 31,3кН для мікропалі П3, 42,5кН для мікропалі П4 та 54,8кН для мікропалі П5.

Випробування проводилося за розпірною схемою за методикою, описаною в [3]. Всі дані заносились в журнал випробувань, на основі них визначались навантаження на палю N і її осідання S і будувались графіки залежності $S = f(N)$. Згідно графіків, несуча здатність висячої мікропалі $F_{d,e}$ у даних ґрунтових умовах довжиною 3м (П3) досягла значення 90 кН, довжиною 4м (П-4) – 98 кН, довжиною 5м (П5) – 106 кН. Допустиме навантаження на мікропалю N_e в зазначених випадках було, відповідно - 75, 82 і 88 кН.

Для порівняння експериментальних і теоретичних розрахункових значень несучої здатності та допустимого навантаження на основі приведених даних будуємо графік залежності розрахункових величин від глибини закладання паль $N_d = f(\ell)$ (рис.2.12).

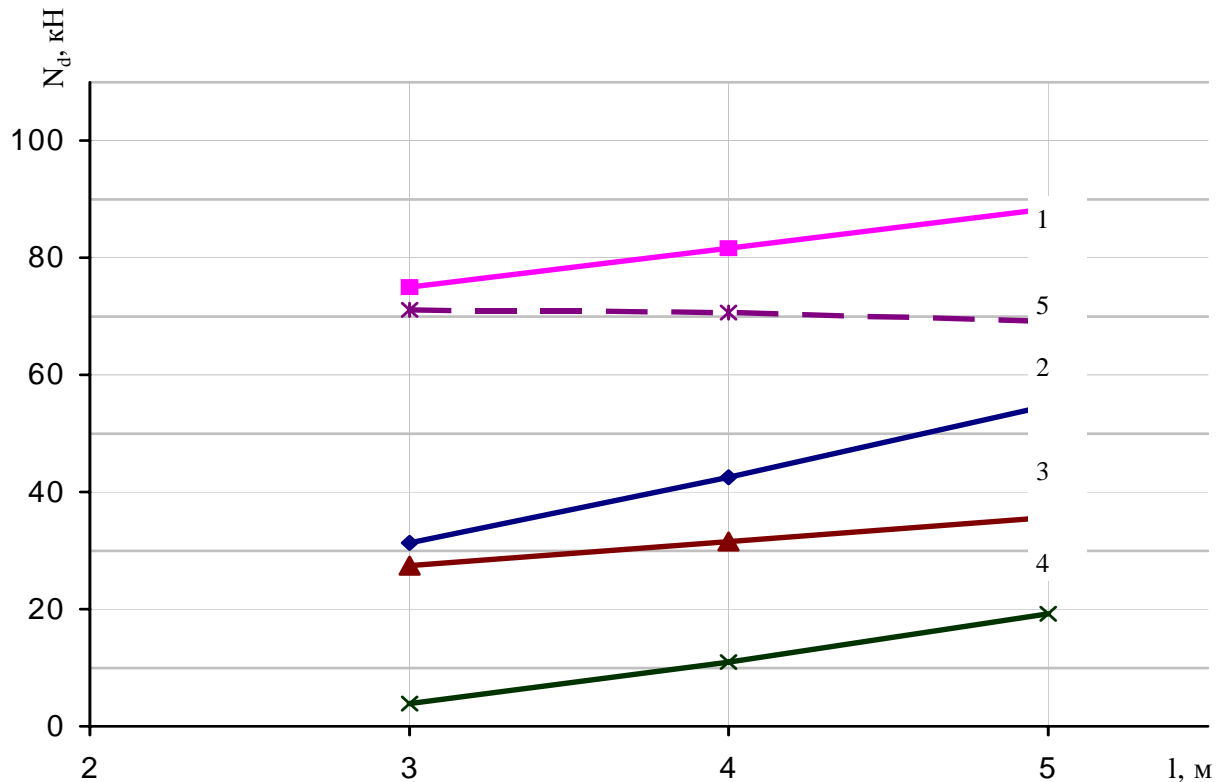


Рис. 2 Залежність розрахункового і експериментального значення допустимого навантаження на мікропаль N , кН, буронабивної мікропалі з поширенням від глибини закладання l , м: 1 – експериментального N_e ; 2 – повного розрахункового N_d ; 3 – розрахункового за рахунок поширення $N_{d,R}$; 4 – розрахункового за рахунок тертя по боковій поверхні $N_{d,f}$; 5 – різниці експериментального та розрахункового за рахунок тертя бокової поверхні $(N_e - N_{d,f})$;

Проаналізувавши всі отримані дані робимо висновок, що несуча здатність мікропаль із збільшенням глибини їх закладання зростає, співвідношення експериментальних та розрахункових значень допустимого навантаження на мікропаль знаходиться в межах $1,67 \div 2,4$.

З метою перевірки надійності роботи мікропаль у різних ґрунтових умовах було проведено експериментальні випробування натурних дослідних зразків буронабивних мікропаль з поширеною п'ятою на реальних об'єктах реконструкції.

На заводі газової апаратури (м. Львів) було виготовлено і випробувано дослідний зразок залізобетонної мікропалі діаметром 170мм з поширенням діаметром 350 мм (П6) загальною довжиною 4,5 метрів. Під час буріння свердловини було виявлено, що до глибини 1,0 м залягають насипні ґрунти з домішками будівельних і твердих побутових відходів, до глибини 3,5 м – за торфованій суглинок, нижче – суглинок напівтвердий. Лабораторні дослідження показали, що ґрунт, який є основою мікропаль – суглинок

напівтвердий з такими розрахунковими характеристиками: $I_L = 0,05$; $e = 0,7$; $S_r = 0,88$; $\gamma_I = 19 \text{ кН/м}^3$; $\varphi_I = 21^\circ$.

На об'єкті реконструкції житлового будинку по вул.Циганівка,16 (м. Львів) було виготовлено і випробувано 2 дослідні зразки залізобетонних мікропаль діаметром 170мм загальною довжиною 5 метрів з одним поширенням діаметром 350 мм (П7) і з двома поширеннями (П8). Під час буріння свердловини було виявлено, що до глибини 2,0 м залягають заторфовані піски, нижче – піски середньої крупності. Грунт, який є основою мікропаль – пісок середньої крупності з такими розрахунковими характеристиками: $e = 0,7$; $S_r = 0,88$; $\gamma_I = 17 \text{ кН/м}^3$, $S_r = 0,85$; $\varphi_I = 30^\circ$.

На об'єкті реконструкції житлового будинку по вул. Котляревського, 30 (м. Львів) було виготовлено і випробувано дослідний зразок залізобетонної мікропалі П9 діаметром 170мм загальною довжиною 5 метрів. До глибини 2,3 м залягають насипні ґрунти, нижче – піски пилюваті. Лабораторні дослідження показали, що ґрунт, який є основою мікропаль – пісок пилюватий з такими розрахунковими характеристиками: $e = 0,6$; $S_r = 0,8$; $\gamma_I = 17,4 \text{ кН/м}^3$, $S_r = 0,85$, $\gamma_I = 17,0 \text{ кН/м}^3$; $\varphi_I = 29^\circ$.

На об'єкті реконструкції школи (с. Лохово Мукачівського р-ну) було виготовлено і випробувано дослідний зразок залізобетонної мікропалі діаметром 170мм з поширенням діаметром 350 мм (П10) загальною довжиною 3,5 метрів, а також анкерні палі довжиною 4 метри. До глибини 0,5 м залягають насипні ґрунти з домішками будівельних і твердих побутових відходів, нижче – глина напівтверда. Грунт, який є основою мікропаль – глина напівтверда з такими розрахунковими характеристиками: $I_L = 0,25$; $e = 0,66$; $S_r = 0,85$; $\gamma_I = 18,5 \text{ кН/м}^3$, $\varphi_I = 29^\circ$.

На об'єкті реконструкції житлового будинку по вул.Франка, 14 (м.Львів) було виготовлено і випробувано дослідний зразок залізобетонної мікропалі діаметром 170мм з поширенням діаметром 350 мм (П11) загальною довжиною 3,0 метрів, а також анкерні палі довжиною 3,5 метрів. Виявлено, що до глибини 1,5 м залягають за торфовані суглинки, нижче – суглинок мергелистий. Лабораторні дослідження показали, що ґрунт, який є основою мікропаль – глина напівтверда з такими характеристиками: $I_L < 0$; $e = 0,66$; $S_r = 0,85$; $\gamma_I = 18,5 \text{ кН/м}^3$; $\varphi_I = 26^\circ$.

Результати визначення допустимого навантаження на палі за результатами всіх експериментів та розрахунків приведено у табл.1.

Отже, експериментальні дослідження несучої здатності мікропаль різної конструкції із змінною довжиною палі засвідчило надійну їх роботу у різноманітних ґрунтових умовах. У всіх випадках експериментальне значення допустимого навантаження на палю значно перевищувало розрахункове

(1,67÷3,44 для палі з поширенням).

Порівняння несучої здатності мікропалі з поширеною п'ятою з аналогічною без поширення (палі П2 та П1) показує, що поширена п'ята значно збільшує несучу здатність при порівнянні експериментальних даних (на 128%) проти незначного підвищення за розрахунком (на 20%). З порівняння експериментальних і розрахункових даних у табл.1 робимо висновок, що несуча здатність забезпечується в основному поширенням. Для того, щоб розрахункові дані відповідали експериментальним потрібно коректувати коефіцієнт γ_{CR} . За експериментальними даними цей коефіцієнт можна визначити зі співвідношення $\gamma_{CR} = (N_e - N_{d,f}) / N_{d,R}$. Він буде в межах 1,94÷3,93.

Таблиця 1

Порівняння експериментальних і теоретичних розрахункових допустимого навантаження на мікро палю

№, довжина палі (довжина ділянки контакту з боковою поверхнею), м	Допустиме навантаження на мікропалю						
	Розрахункове N_d , кН	Розрахункове поширення $N_{d,R}$, кН	Розрахункове бокової поверхні $N_{d,f}$, кН	Експеримен- тальне N_e , кН	N_e / N_d , кН	$N_e / N_{d,R}$, кН	$(N_e - N_{d,f}) / N_{d,R}$, кН
П1 – 6,0 (2,5)	51,8	16,6(32%)	35,2(68%)	62	1,2	3,74	1,61
П2 – 6,0 (2,5)	68,6	33,5(49%)	35,1(51%)	156,1	2,28	4,66	3,61
П3 – 3,0 (0,63)	31,3	27,4(88%)	3,9(12%)	75,0	2,4	2,73	2,59
П4 – 4,0 (1,63)	42,5	31,5(74%)	11,0(26%)	81,7	1,92	2,59	2,24
П5 – 5,0 (2,63)	54,8	35,6(65%)	19,2(35%)	88,3	1,67	2,57	1,94
П6 – 5,0 (0,65)	73,2	63,4(87%)	9,8(13%)	191,7	2,59	3,02	2,86
П7 – 5,0 (2,3)	75	45,0(60%)	30,0(40%)	166,7	3,17	3,7	3,03
П8 – 5,0 (1,85)	98,7	75,0(76%)	23,6(24%)	175,0	2,0	3,9	1,94
П9 – 5,0 (2,0)	55,2	41,5(75%)	13,7(25%)	166,7	3,44	4,0	3,93
П10 – 3,5 (2,0)	53,3	37,6(71%)	15,7(29%)	141,7	3,23	3,77	3,35
П11 – 3,0 (2,0)	54,2	46,6(86%)	7,7(14%)	120,8	2,22	2,59	2,42

Література

1. Деклараційний патент на винахід № 2003109615. Україна. Буронабивна мікропалля з поширеною п'ятою / Гнатюк О.Т., Мазепа О.М., Ониськів Б.М. (Україна). - 4 с. іл.; Опубл. 26.05.04, Бюл. №5.

2. ОСНОВА-СОЛСИФ.МИКРОСВАИ//http://www.osnova-solsif.com/rus/techno02_rus.shtml

3. ДСТУ Б В.2.1– 95 (ГОСТ 5686-94) Грунти. Методи польових

випробувань палями/ Державний комітет України у справах містобудування і архітектури.- К.:Укрархбудінформ, 1997. –57с.

4. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты/ Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48с.

5. Демчина Б., Корвін О., Гнатюк О. Випробування буронабивних паль при будівництві на забудованих територіях // Вісник Львівського державного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво – 2006. - №7. – С.77-84.

Аннотация

Описана конструкция, технология изготовления и методика натуральных экспериментальных исследований работы буронабивных свай с расширенной пятой и произведен анализ этих исследований.

Ключевые слова: микросвая с расширенной пятой, допустимая нагрузка на сваю, технология изготовления микросвай.

Annotation

The construction, technology of manufacturing and method of experimental researches of models of work of bore filled micropiles from the reinforced concretes, is described with a widened heel and the analysis of these researches is conducted.

Keywords : micropile with widened heel, permissible loading to micropile, technology of micropiles manufacturing.