

## ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.1

### ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ БУРОІН'ЄКЦІЙНИХ ПАЛЬ В НЕСТІЙКОМУ ВОДОНАСИЧЕНОМУ ҐРУНТІ

### PECULIARITIES OF WORK OF DRILL INJECTION PILES IN UNSTABLE WATER-SATURATED SOIL

Алексієвєць В.І., к. т. н. доцент, ORCID:0000-0002-1274-888X, Алексієвєць І.І., к.т.н. доцент, ORCID:0000-0002-5784-3119, Іванюк А.М., к.т.н., доцент, ORCID:0000-0002-2314-4061 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Aleksiiievets V., candidate of technical sciences associate professor, Aleksiiievets I., candidate of technical sciences associate professor, Ivaniuk A., candidate of technical sciences associate professor (National university of water management and nature resources use, Rivne)

Наведено результати розрахунку, проектування та застосування буроін'єкційних палей в нестійких водонасичених ґрунтах на прикладі об'єкту проектування та реконструкції стадіону «Авангард» в м. Рівне. Виконані статичні випробування буроін'єкційних палей та підтверджено збільшення значень фактичної несучої здатності палей відносно розрахункової.

In 2019, work began on the reconstruction of the stadium "Avangard" in Rivne on the basis of the approved project. The first stage of construction was the reconstruction of the stadium's east stand with its expansion and the installation of additional supports for the construction of a canopy over the west stand.

During the reconstruction of the stadium, the drilling and production of injection piles using CFA (Continuous Flight Auger) technology was used. CFA technology is the drilling of pile wells with a continuous auger drill.

The analysis of recent research focuses on the fact that the actual bearing capacity of injection piles is 1.5 - 2.5 times greater than the estimated, which is due to the inclusion in the regulatory documentation of low coefficients of pile conditions to minimize risks at the design stage.

The aim of the work is to develop constructive solutions and tests of borehole injection piles on a specific construction site in unstable water-saturated soil, to compare the calculated bearing capacity of piles with the results of static tests.

**For the test, four experimental piles with a trunk diameter of 820 mm were selected, which were sunk into the soil of natural moisture with the immersion of the bottom of the pile on the design mark in the refractory loam.**

**The results of studies of borehole injection piles with a diameter of 820 mm showed an increase in the bearing capacity of piles by 25% relative to the estimated, while the overconsumption of concrete mix was 26%. The results confirm the established practice of intermediate adjustment of design documentation in terms of individual structural elements of buildings or structures in order to quickly make approved design decisions on the construction site and speed up construction time.**

**Ключові слова:** буройн'єкційна паля, статичні випробування ґрунтів, водо насичений ґрунт.  
borehole injection pile, static soil testing, water-saturated soil.

**Вступ.** В 2019 році розпочалися роботи по реконструкції стадіону «Авангард» в м. Рівне на підставі затвердженого проекту. Першою чергою будівництва було передбачено реконструкція східної трибуни стадіону з її розширенням та влаштування додаткових опор для будівництва навісу над західною трибуною. На стадії проектування було прийнято рішення по влаштуванню буронабивних паль довжиною 9 м та діаметром 800 мм. Проте під час буріння перших свердловин виникла необхідність коригування проектних рішень – заміни буронабивних паль на буройн'єкційні. Це було зумовлено тим, що під час буріння свердловин в нестійкому водонасиченому ґрунті утворюються тріщини та порожнини, внаслідок цього і перевитрата бетону на їх заповнення.

Під час влаштування буройн'єкційних паль заповнюються тріщини та порожнини, які утворюються при бурінні та відбувається ефект ущільнення навколишнього ґрунту на контактній зоні «паль – ґрунт» за рахунок ін'єктування, при цьому не потрібно залишати в ґрунті обсадні труби чи додатково закріплювати стінки паль (що потрібно було б передбачати при буронабивних палях).

В умовах реконструкції споруд стадіону було використано метод буріння та виготовлення буройн'єкційних паль з використанням технології CFA (Continuous Flight Auger). Технологія CFA – це буріння свердловин для паль з допомогою шнекового бура безперервної дії. Даний метод буріння дозволяє споруджувати палі в різних породах ґрунтів, сухому або водонасиченому, в ґрунтах різної щільності, а також у слабких породах. При цьому при роботі відсутній ударний вплив та вібрація, що є досить суттєвим в умовах ущільненої забудови.

**Огляд останніх досліджень.** Згідно аналізу джерел досліджень та публікацій [1-4], що описують проблематику влаштування та технології виготовлення буройн'єкційних паль, на теперішній час існує ряд невирішених

питань щодо проектування таких паль, технології їх виготовлення та якістю виконання. Зокрема основна увага звертається на те, що фактична несуча здатність буроін'єкційних паль у 1,5 – 2,5 рази більша, ніж розрахункова [3], що пов'язано з закладенням в нормативній документації [5] занижених коефіцієнтів умов роботи паль для мінімізації ризиків на стадії проектування.

Авторами [4] зафіксовано, що внаслідок перевитрат бетонної суміші діаметр перерізу паль перевищив проектне значення на 20 – 70 %. Через це несуча здатність паль виявилась більшою за передбачувану, тому для економії було прийнято рішення зменшити діаметр паль, та проведено додаткові дослідження, що підтвердили їх проектну несучу здатність.

**Мета роботи** полягає в тому, щоб на конкретному об'єкті будівництва в нестійкому водонасиченому ґрунті розробити конструктивні рішення та виконати випробування буроін'єкційних паль, порівняти розрахункову несучу здатність паль з результатами статичних випробувань.

**Основний матеріал та результати досліджень.** Розглядається об'єкт Реконструкція стадіону «Авангард» на вул. Замковій, 34 у м. Рівному. Інженерно-геологічні вишукування виконувались спеціалізованою лабораторією. В геологічній будові району будівництва приймають участь четвертинні алювіально-болотні та алювіальні ґрунти, що з поверхні перекриті насипними утвореннями. Геологічна будова представлена наступними елементами:

ГЕ-1 – насипний ґрунт (будівельне сміття з домішками суглинку), потужністю 1,0-2,2 м;

ГЕ-2 – суглинок тугопластичний з прошарками м'якопластичного, в нижній частині з гніздами торфу та піску, потужністю 1,0-4,9 м;

ГЕ-3 – супісок пластичний з прошарками суглинку тугопластичного, потужністю до 4,0 м;

ГЕ-4 – суглинок тугопластичний з лінзами супіску та піску, нерівномірного складу. Суглинки ГЕ-4 в межах стадіону розкриті в його східній частині підстеляють насипні утворення та алювіально-болотні відклади та завершують інженерно-геологічний розріз, що розвіданий до глибини 12,0 м. Неповна розкрита потужність суглинку досягає 5,5 м.

Водоносний горизонт розповсюджений по всій площі вишукувань, приурочений до ґрунтів ГЕ-2,3,4, безнапірний та гідравлічно пов'язаний з р. Устя. Сталий рівень підземних вод першого водоносного горизонту зафіксований на глибині від 2,0 до 3,0 м. Живлення горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. Можливе коливання рівня підземних вод в межах  $\pm 0,5$  м.

Рельєф ділянки будівництва рівний. Поверхня спланована насипними ґрунтами при першій реконструкції споруд стадіону, який відбувся у 1970 році.

Розрахунок, проектування та компонування палювих фундаментів виконувався згідно діючих нормативних документів [5-7].

В конструктивному відношенні проектована буроін'єкційна паля великого діаметру являє собою стояк довжиною 10 м, діаметром 820 мм, виконаний з бетону класу С20/25 та армована шістьма стержнями діаметром 16 мм арматури А500С (рис. 1).

Для випробування було відібрано чотири дослідні палі (номери паль 31, 55, 63, 336 згідно проектної документації) з діаметром стовбура 820 мм, які були заглиблені в ґрунти природної вологості. Виготовлення паль виконувалось з поверхні будівельного майданчика з зануренням низу пальі на 1,5-2,0 м у ПЕ-4 – суглинок тугопластичний.

Розрахункове навантаження на палю прийнято  $P=30$  тс – відповідно до розрахунків проведених згідно [5].

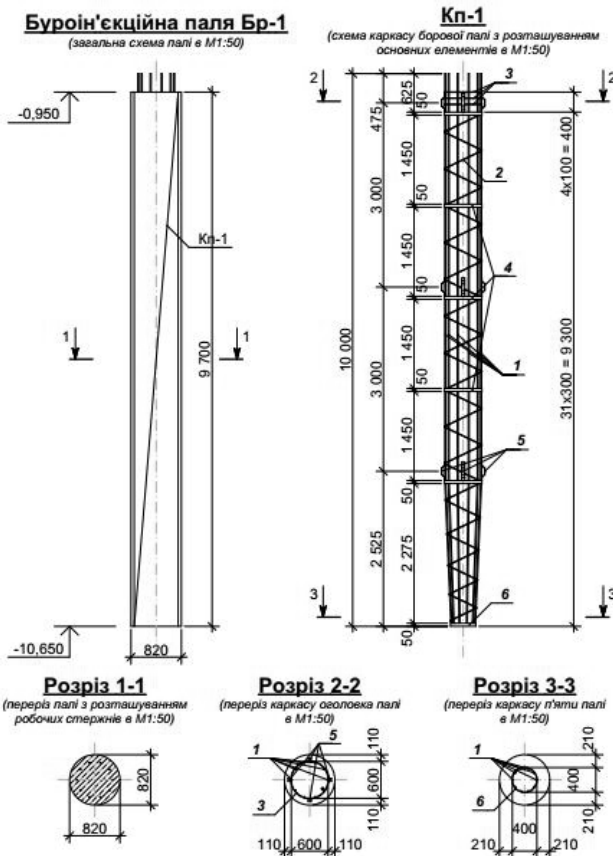


Рис. 1. Конструкція буроін'єкційної палі.

Влаштування буроін'єкційних паль виконувалось за допомогою бурової установки МКГ 25 БР (рис. 2).

Технологія влаштування цих паль достатньо проста і надійна. На копровій щоглі набирається шнекова колона необхідного діаметра і довжини. Установивши на точку буравлення, шнекова колона забуравлюється на проектну глибину, в разі досягнення якої бетононасосом подається під тиском бетонна суміш з одночасним підняттям шнекової колони. Вибурений ґрунт прибирається за допомогою екскаватора. Потім в свіже укладений бетон вібратором занурюється арматурний каркас Кп-1.

Результати статичних випробувань бурюін'єкційних паль. Мета випробувань – контрольні випробування для підтвердження несучої здатності ґрунтів через палю, для проектування пальового фундаменту.

Випробування паль проводилося до навантаження, рівного 45 тс, але не менше величини, що викликає граничне осідання [5, 8], та проведено згідно методики ДСТУ Б В.2.1-27:2010 «Основи та фундаменти споруд. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань».



Рис. 2. Установка для буріння та бетонування паль.

Допустима величина граничного осідання фундаментів проектованої споруди становить  $S_{\max,u}=10$  см (згідно [5], додаток А, таблиця А.1 – Граничні значення деформації основ і фундаментів споруд, п.1), то часткове значення граничного опору палі слід приймати при осіданні

$$S = \zeta \cdot S_{\max,u} = 0,2 \cdot 100 = 20 \text{ мм.} \quad (1)$$

Навантаження на палю прикладалося ступенями за допомогою гідравлічного домкрату ДГ-100 і однобалкового металевого стенду, закріпленого до чотирьох анкерних паль (рис. 3).

Ступені навантаження склали 5 тс. Вимірювання осідань випробувальних палів виконувався за допомогою прогиномірів 6 ПАО, закріплених на незалежній реперній системі. За критерій умовної стабілізації деформацій основи палі прийнята швидкість осідання, що не перевищувала 0,1 мм за годину спостережень.



Рис. 3. Стенд для статичного випробування палів.

Результати статичного випробування палі №55 наведені в табл. 1. За результатами побудовано графіки залежності осадки палі  $S$ , від вдавлюючого навантаження  $P$  при навантаженні та розвантаженні (рис. 4).

Таблиця 1.

Результати випробування палі № 55.

Проміжок часу між відліками $\Delta t$ , хв.	Загальне навантаження, т.	Відліки по приладам, мм		$S_1+S_2+\dots+S_n$ , мм	Переміщення $S=(S_1+S_2+\dots+S_n)/n$ , мм, де $n$ -кількість приладів	Приріст переміщень $\Delta S$ , мм	Сума переміщень $\sum S$ , мм
		$S_1$	$S_2$				
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
30		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10
30		0,10	0,10	0,20	0,10	0,00	
30		0,10	0,10	0,20	0,10	0,00	

Проміжок часу між відліками $\Delta t$ , хв.	Загальне навантаження, т.	Відліки по приладам, мм		$S_1+S_2+\dots+S_n$ , мм	Переміщення $S=(S_1+S_2+\dots+S_n)/n$ , мм, де n-кількість	Приріст переміщень $\Delta S$ , мм	Сума переміщень $\sum S$ , мм
		$S_1$	$S_2$				
1	2	3	4	5	6	7	8
5	15	0,50	0,40	0,90	0,45	0,35	0,55
30		0,60	0,50	1,10	0,55	0,10	
30		0,60	0,50	1,10	0,55	0,00	
5	20	1,20	1,00	2,20	1,10	0,55	1,20
30		1,30	1,10	2,40	1,20	0,10	
30		1,30	1,10	2,40	1,20	0,00	
5	25	2,10	2,00	4,10	2,05	0,85	2,15
30		2,20	2,10	4,30	2,15	0,10	
30		2,20	2,10	4,30	2,15	0,00	
5	30	3,30	3,20	6,50	3,25	1,10	3,35
30		3,40	3,30	6,70	3,35	0,10	
30		3,40	3,30	6,70	3,35	0,00	
5	35	4,50	4,30	8,80	4,40	1,5	5,00
30		4,80	4,60	9,40	4,70	0,30	
30		5,00	4,80	9,80	4,90	0,20	
30		5,10	4,90	10,00	5,00	0,10	
30		5,10	4,90	10,00	5,00	0,00	
5	40	6,30	6,00	12,30	6,15	1,15	6,75
30		6,60	6,30	12,90	6,45	0,30	
30		6,80	6,50	13,30	6,65	0,20	
30		6,90	6,60	13,50	6,75	0,10	
30		6,90	6,60	13,50	6,75	0,00	
5	45	8,20	8,00	16,20	8,10	1,35	8,70
30		8,50	8,30	16,80	8,40	0,30	
30		8,70	8,50	17,20	8,60	0,20	
30		8,80	8,60	17,40	8,70	0,10	
30		8,80	8,60	17,40	8,70	0,00	
<b>Розвантаження</b>							
0	45	8,80	8,60	17,40	8,70	0,00	8,70
15	40	8,80	8,60	17,40	8,70	0,00	8,70
15	30	8,60	8,40	17,00	8,50	0,20	8,50
15	20	8,40	8,20	16,60	8,30	0,20	8,30
15	10	8,10	7,90	16,00	8,00	0,30	8,00
30	0	7,60	7,50	15,10	7,55	0,45	7,55

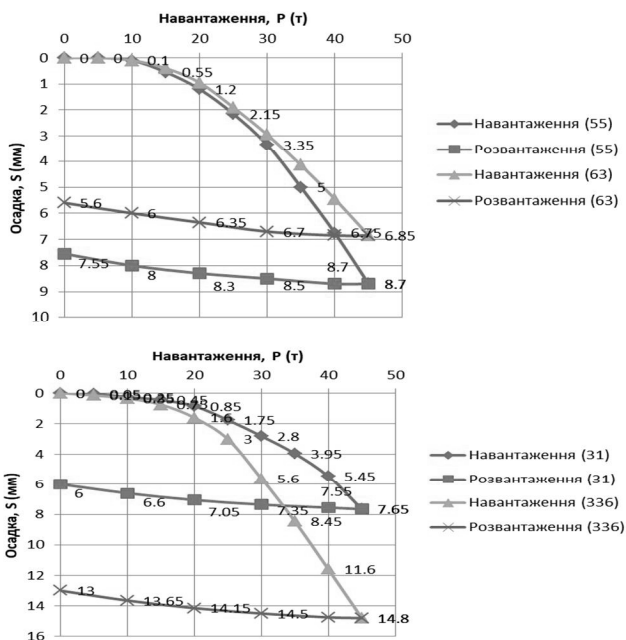


Рис. 4. Графіки залежності осадки палі S, від вдавлюючого навантаження P.

Як видно з графіків залежності, при частковому значенні граничного опору дослідних палей  $F_u=45$  тс, стабілізоване осідання не перевищує граничних значень. Для палей №31 –  $S=7,65$  мм, №55 –  $S=8,70$  мм, №63 –  $S=6,85$  мм, №336 –  $S=14,80$  мм.

Розрахункове навантаження, допустиме на одиничну палю по ґрунту основи становить

$$N = F_d / \gamma_k = 45 / 1,2 = 37,5 \text{ тс.} \quad (2)$$

**Висновки.** Проаналізовано особливості та технологію влаштування буроін'єкційних палей в різних інженерно-геологічних умовах, зокрема розглянуто досвід влаштування таких палей за наявності лесових ґрунтів та проведено випробування буроін'єкційних палей в нестійкому водонасиченому ґрунті.

Результати досліджень буроін'єкційних палей з діаметром 820 мм зафіксували збільшення несучої здатності палей на 25% відносно розрахункової, при цьому перевитрата бетонної суміші при влаштуванні палей склала 26%. Прийнято рішення залишити діаметр палей та схему їх розміщення без змін, оскільки наступний по зменшенню бур промислового виготовлення діаметром 620 мм, що є недостатнім для навантажень які діють на споруди, при визначеній схемі розміщення палей. Крім того, недоцільно виконувати перерахунок на палі меншого діаметра, оскільки це призведе до збільшенні



кількості паль в куцах, додаткових витрат на бетонний ростверк та витрат пов'язаних з монтажем додаткових паль.

Результати роботи підтверджують усталену практику проміжного коригування проектної документації в частині окремих конструктивних елементів будівель чи споруд задля швидкого прийняття затверджених проектних рішень на будівельному майданчику та прискорення термінів будівництва.

1. Левченко, В.П. Напружено-деформований стан систем «буроін'єкційна паля – основа»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.02 / В.П. Левченко; ПолтНТУ. – Полтава, 2011. – 21 с.

Levchenko, V.P. Napruzhenno-deformovanyi stan system «buroinieksiina palia – osnova»: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.23.02 / V.P. Levchenko; PoltNTU. – Poltava, 2011. – 21 s.

2. Зоценко, М.Л. До проектування і виготовлення буроін'єкційних паль / М.Л. Зоценко, В.П. Левченко, В.В. Мірошниченко // Стrojitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: сб. научн. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2011. – Вып. 61. – С. 195-206.

Zotsenko, M.L. Do proektuvannia i vyhotovlennia buroinieksiinykh pal / M.L. Zotsenko, V.P. Levchenko, V.V. Miroshnychenko // Stroytelstvo, materialovedenye, mashynostroenye: sb. nauchn. tr. – Dnepropetrovsk: PHASA, 2011. – Выр. 61. – S. 195-206.

3. Корнієнко, М.В. Визначення несучої здатності паль за результатами випробувань статичним навантаженням / М.В. Корнієнко, І.Ю. Заварзіна // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. праць. – Вып. 75, книга 2. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С. 150 – 158.

Korniienko, M.V. Vyznachennia nesuchoi zdatnosti pal za rezultatamy vyprobuvan statychnym navantazhenniam / M.V. Korniienko, I.Iu. Zavarzina // Budivelni konstruksii: mizhvid. nauk.-tekhn. zb. prats. – Выр. 75, knyha 2. – К.: DP NDI BK, 2011. – S. 150 – 158.

4. Сєдін, В.Л. Особливості влаштування буроін'єкційних паль великого діаметра в багатопшарових глинистих ґрунтах / В.Л. Сєдін, А.М. Мельник, К.М. Бікус, К.А. Шикотюк // Збірник наукових праць. Секція: галузеве машинобудування, будівництво. Полтава: ПолтНТУ, 2015. Вып. 1(43). – С. 214 – 221.

Siedin, V.L. Osoblyvosti vlashtuvannia buroinieksiinykh pal velykoho diametra v bahatosharovykh hlynistykh gruntakh / V.L. Siedin, A.M. Melnyk, K.M. Bikus, K.A. Shykotiuk // Zbirnyk naukovykh prats. Sektsiia: haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. Poltava: PoltNTU, 2015. Выр. 1(43). – S. 214 – 221.

5. ДБН В.2.1-10:2018 «Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення». Мінрегіон України. – Київ: 2018 – С. 36.

DBN V.2.1-10:2018 «Osnovy ta fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennia». Minrehion Ukrainy. – Kyiv: 2018 – S. 36.

6. ДБН В.1.2.2:2006. «Навантаження і впливи. Норми проектування». Мінбуд України. – Київ: 2006 – С. 79.

DBN V.1.2.2:2006. «Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia». Minbud Ukrainy. – Kyiv: 2006 – S. 79.

7. ДБН В.1.2-14-2009. «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ». Мінбуд України. – Київ: 2006.

DBN V.1.2-14-2009. «Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnykh konstruksii ta osnov». Minbud Ukrainy. – Kyiv: 2006.

8. Звіт за результатами статичних випробувань буронабивних паль на об'єкті: «Реконструкція стадіону «Авангард» на вул. Замковій, 34 в м. Рівному». ТОВ «БК СТАНДАРД 2019». – Київ: 2019 – С. 22.

Zvit za rezultatamy statychnykh vyprobuvan buronabyvnykh pal na obiekty: «Rekonstruksiiia stadionu «Avanhard» na vul. Zamkovii, 34 v m. Rivnomu». TOV «BK STANDARD 2019». – Kyiv: 2019 – S. 22