

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.154.54.042.2:624.131.384

В. Л. СЕДІН<sup>1\*</sup>, К. М. БІКУС<sup>2</sup>, В. В. КОВБА<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, Дніпропетровськ, Україна, 49600, ел. пошта geotescprof@mail.ru

<sup>2\*</sup> Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 47-02-63, ел. пошта geotescprof@mail.ru

<sup>3\*</sup> Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 47-02-63, ел. пошта kovba-vladislav@mail.ru

### ВПЛИВ ПОВТОРНОГО СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОСІДАННЯ БУРОІН'ЄКЦІЙНОЇ ПАЛІ

**Мета.** Дослідити вплив повторного статичного навантаження на осідання бурюін'єкційної палі. Провести два цикли натурних випробувань бурюін'єкційної палі великого діаметру статичними вдавлювальними навантаженнями після її «відпочинку». **Результати.** Перше навантаження палі відбувалось після «відпочинку» 28 діб, повторне навантаження – 26 діб. При I циклі максимально проявляються пластичні деформації. При II циклі – залежність осідання від навантаження демонструє практично лінійну залежність до певного показника, при навантаженні що відповідає  $R_{max}$  при I циклі, осідання складає 1/5 частину від загального при I циклі. Повторне статичне навантаження палі зафіксувало збільшення максимального навантаження на палю на 27 % і зменшення її осідання при цьому на 12 %. **Наукова новизна.** Отримано нові результати польових досліджень впливу повторного статичного навантаження на осідання бурюін'єкційної палі великого діаметру. **Практична значимість.** Повторне статичне навантаження палі дозволяє виявити максимальний потенціал їх несучої здатності у заданих інженерно-геологічних умовах, оскільки навантаження ведеться до «зриву» палі. А також виключити послаблений ґрунт під підошвою палі, викликаний технологічною особливістю CFA-технології.

**Ключові слова:** бурюін'єкційна палія; повторне навантаження; статичні випробування; «відпочинок» та осідання палі

#### Вступ

Стрімке зростання висотного будівництва, зокрема на територіях зі складними інженерно-геологічними умовами, вимагає пошук надійного варіанту проектування фундаментів. Застосування палі в таких випадках є найбільш ефективним рішенням. Збільшення навантажень на основи при висотному будівництві призводить до збільшення як абсолютних, так і відносних нерівномірних осідань палювих фундаментів. Тому на перший план виходить проблема економічного і ефективного застосування різних типів палювих фундаментів, при забезпеченні надійності будівель і споруд протягом всього строку експлуатації, а головним завданням геотехніків є використання максимального потенціалу ґрунтової основи для передачі на неї максимально допустимих навантажень, а також зменшення різниці осідань у межах однієї будівлі [9].

Сьогодні пошук надійного варіанту фундаменту вимагає розроблення геотехнічного обґрунтування для вибору оптимального проектного рішення і технології його реалізації [8]. Широкого розповсюдження набула бурюін'єкційна технологія виготовлення палі CFA (від англ. *Continuous Flight Auger*) – шнекового бура безперервної дії [10, 12].

Дослідження бурюін'єкційних палі і технології їх виготовлення широко опубліковані [3, 5, 7, 8, 10, 12, 13], проте досі існує коло невирішених питань, пов'язаних з проектуванням бурюін'єкційних палі і якістю їх виконання, зокрема в складних інженерно-геологічних умовах.

При використанні бурюін'єкційної технології у водонасичених глинистих ґрунтах, розущі-

При використанні бурюін'єкційної технології у водонасичених глинистих ґрунтах, розущі-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

льнення масиву ґрунту довкола паль сприяє неконтрольованому надлишковому вилученню ґрунту при укрупненні шнека, що призводить не лише до значних перевитрат бетонної суміші [8], а також до осідання поверхні дна котловану [7]. Не дивлячись на особливості CFA-технології та багато невирішених питань, пов'язаних з якістю виконання буроін'єкційних паль, зокрема в складних інженерно-геологічних умовах, вони мають резерв фактичної несучої здатності порівняно з розрахунковою чи прогнозованою. Оскільки діючі норми розглядають буроін'єкційні палі, практично, як і буронабивні, це призводить до заниження розрахункової несучої здатності таких паль і, як наслідок, до збільшення їх геометричних розмірів чи кількості на майданчику [5]. Тому несучу здатність буроін'єкційних паль необхідно приймати виключно на основі натурних їх випробувань [11].

Влаштування CFA-паль за технологією коли нижня частина шнеку багаторазового використання вимагає підняття шнеку для подачі бетону, що головною мірою впливає на якість спирання палі і залежить від хисту бурового майстра. Зазначена технологічна особливість здатна створювати послаблення ґрунтової основи під нижнім торцем паль особливо у водонасичених піщаних основах, що в подальшому сприяє підвищеній деформативності ґрунтової основи та збільшує осідання паль, зокрема нерівномірні.

На кожному будівельному майданчику при будівництві багатопверхових будівель згідно норм [4] проводять випробування натурних паль при дії статичних навантажень. За допомогою даного методу досягають найбільш точного визначення значення несучої здатності паль.

Випробування статичним вдавлювальним навантаженнями буроін'єкційної палі, викладені у [7], виявили ефект доущільнення розпушеної ґрунтової основи, складеної з пилюватого піску, під нижнім торцем палі. Встановлено що на процес розпушення впливає, швидкість проходження свердловин, та швидкість витягування бурового інструменту (яка, до речі, у нашій країні документально не нормується) сприяє створенню поршневого ефекту. Доведено, що попереднє статичне навантаження знижує деформативність основ таких видів паль [6].

Аналіз результатів натурних випробувань паль, викладених у [1], виявив значну кількість дослідних паль, які мають недоліки, пов'язані з

неякісним спиранням їх нижнього торця з ґрунтом основи.

Необхідно зазначити, що на практиці натурні палі для випробувань, зазвичай, виготовляють під пильним контролем, і їх якість завжди вища. Отже, за умови випробування усіх робочих паль у складі фундаменту, відсоток паль з недоліками спирання, може бути набагато більше.

Ефективним методом зниження деформативності ґрунтових основ, яким можна додатково досягти зменшення осідань та підвищення несучої здатності паль є повторні цикли навантажень паль, якими фактично є статичні випробування.

Необхідно проводити подальші дослідження з вивчення впливу повторних статичних навантажень на осідання буро-ін'єкційних паль (зокрема натурних) і деформативність їх основ для збирання нових дослідних даних.

### Мета

Дослідити вплив повторного статичного навантаження на осідання буроін'єкційної палі. Провести два цикли натурних випробувань буроін'єкційної палі великого діаметру статичними вдавлювальними навантаженнями після її «відпочинку».

### Методика

Натурні статичні випробування буроін'єкційної палі великого діаметру проведено на будівельному майданчику багатопверхового житлового-офісного комплексу з підземним паркінгом у м. Дніпропетровськ.

На дослідному будівельному майданчику виконано два цикли «навантаження – розвантаження» експериментальної буроін'єкційної палі діаметром 520 мм (згідно ДБН В.Б-10-2009 паліями великого діаметру вважаються палі діаметром більше 300 мм), довжиною 15,7 м, схема розташування якої показана на рис. 1. Експериментальний майданчик має багатопверхову будову: він складений з піщаних та глинистих ґрунтів, детальне розташування яких наведено на інженерно-геологічному перерізі (див. рис. 1). Геологічну будову на даному майданчику розвідано до глибини 36 м за допомогою буріння свердловин та статичного зондування.

У геоморфологічному відношенні дослідний майданчик приурочено до третьої надпойменої тераси правобережжя р. Дніпро, на з'єднанні з другою терасою [14].

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

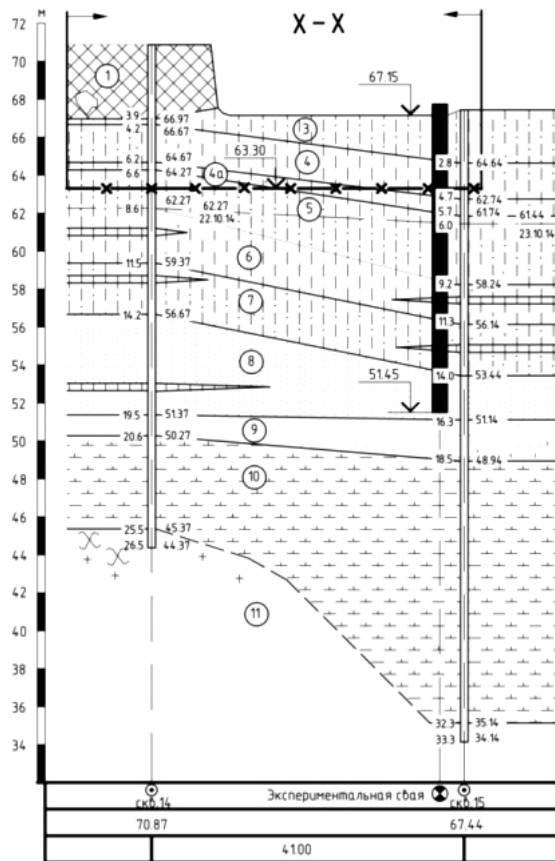


Рис. 1. Інженерно-геологічний переріз майданчика зі схемою розташування дослідної палі

Випробування палі проводилося з рівня дна котловану (див. рис. 1). Несучим шаром палі слугують піски пилюваті, щільні, водонасичені (ІГЕ-8), які підстеляються пісками різнозернистими щільними водонасиченими (ІГЕ-9), каолінами (ІГЕ-10) та плагіогранітами (ІГЕ-11), ІГЕ-1 – насипні ґрунти, ІГЕ-2 – ґрунтово-рослинний шар.

Значення фізико-механічних властивостей ґрунтів за даними інженерно-геологічних вишукувань наведені у табл. 1.

З негативних фізико-геологічних явищ необхідно відмітити наявність лесових маловологих ґрунтів (ІГЕ-3, ІГЕ-4), здатних проявляти властивості просідання при замочуванні від власної ваги і додаткового навантаження.

Враховуючи наявність шарів лесових просідаючих супісків (ІГЕ-3) та суглинків (ІГЕ-4), сумарною потужністю 3,85 м, випробування проводилось із замочуванням ґрунтів зазначених шарів (рис. 2). Перед випробуванням були пробурені навкруги дослідної палі чотири дренажні свердловини діаметром 150 мм, глибиною 3,9 м з подальшим засипанням їх щебенем фракції 25...40 мм. Подача води відбувалась через дренажні свердловини безпосередньо перед, та під час проведення випробування палі (рис. 3, а).



Рис. 2. Загальний вигляд анкерного стелу для статичних випробувань бурин'єкційної палі

Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів дослідного майданчику за даними інженерно-геологічних вишукувань

№ ПТЕ	Назва шару ґрунту	Природна вологість, д.о.	Число пластичності,	Показник текучості,	Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	Коефіцієнт пористості, д.о.	Питоме зчеплення, кПа	Кут внутрішнього тертя, градуси	Модуль деформації, МПа
		$W$	$I_p$	$I_L$	$\rho$	$e$	$c$	$\varphi$	$E$
3	Супіски лесові, тверді, просідаючі	0,13	0,05	-1,06	1,58	0,82	8	26	6,5
4	Суглинки лесові, тверді та напівтверді, просідаючі	0,2	0,08	-0,15/0,22	1,71	0,8	12	25	7,0
5	Супіски лесові, пластичні	0,21	0,07	0,45	1,93	0,66	9	24	8,0
6	Суглинки лесові, м'якопластичні	0,24	0,08	0,7	1,92	0,72	12	23	6,0
7	Супіски лесові, пластичні	0,22	0,06	0,63	1,97	0,65	10	24	7,0
8	Піски кварцові пілуваті, щільні, неоднорідні, водонасичені	0,23	-	-	2,03	0,61	5	31	24,0
9	Піски різнозернисті, щільні, неоднорідні, водонасичені	-	-	-	-	-	41	32	33,0
10	Каоліни первинні, тверді	0,24	0,12	-0,23	1,95	0,72	42	21	29,0
11	Плагіограніти, середньозернисті, масивні, слабовиветрілі	-	-	-	2,66	R <sub>сI</sub> =59,76 МПа R <sub>сII</sub> =59,85 МПа			



Рис. 3. Елементи анкерного станду:

а) подача води для замочування ґрунту; передача навантаження на палю від двох домкратів; б) прогиномір БПАО

Дослідна буроін'єкційна паля діаметром 520 мм була виготовлена буровою установкою

Soilmec CM-70 за технологією CFA (нижня частина шнеку багаторазового використання).

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

До початку випробування та після його завершення проводився контроль за геометричними параметрами палі (довжина, суцільність стовбура за глибиною) неруйнівним методом – ехолокацією.

Перше випробування експериментальної буроін'єкційної палі статичним навантаженням відбувалось після «відпочинку» 28 діб (I цикл «навантаження – розвантаження»). Повторне навантаження палі – після «відпочинку» 26 діб (II цикл «навантаження – розвантаження»).

Навантаження палі здійснювалось статичним осовим навантаженням ступенями по 100 кН (окрім перших трьох ступенів, по 200 кН) за допомогою двох гідравлічних домкратів ДГО-200 (див. рис. 2, б), сумарною площею поршнів 1 000 см<sup>2</sup> (2×500 см<sup>2</sup>), які встановлювались на палю і спирались у систему упорних балок металевого анкерного стенду з набором гвинтових металевих анкерних паль (див. рис. 2). Навантаження на палю визначалось по манометрам, з ціною поділки 5 кгс/см<sup>2</sup>). Кожний ступінь навантаження витримувався до умовної стабілізації

осідання палі: 0,1 мм деформації за останню годину спостереження відповідно [4].

Відліки знімалися одразу після прикладення ступені навантаження, а потім чотири відліки з інтервалом 30 хв., інші – через годину до настання умовної стабілізації. Вертикальні переміщення палі фіксувались двома прогиномірами БПАО, встановленими на реперних пристроях, з точністю 0,01 мм (див. рис. 3, б).

Усі прилади вимірювань, що підлягають метрологічній повірці, своєчасно повірені і атестовані (права належать ТОВ «Гідробудпроект»).

За фактичне значення деформації палі приймалося середнє арифметичне по поділках двох приладів.

Розвантаження палі здійснювалось ступенями, що рівні подвійній величині завантажувальної ступені. Зміна деформацій фіксувалася одразу після зняття навантаження і через 15 хв. очікування.

Результати статичних випробувань буроін'єкційної палі наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати статичних випробувань буроін'єкційної палі

Діаметр палі, мм	Довжина, м	Витрати бетону на палю, м <sup>3</sup>		Цикли «навантаження – розвантаження»	Період «відпочинку» з дати виготовлення, доби	Період «відпочинку» після першого навантаження, діб	Максимальне навантаження на палю $P_{max}$ , кН	Осідання S, мм	
		проектні	фактичні					при максимальному навантаженні	при розвантаженні
520	15,7	3,38	4,25	I	28	-	2 100	42,65	38,05
				II	28+26	26	2 900	37,5	26,5

## Результати

За даними журналу статичних випробувань експериментальної буроін'єкційної палі побудовані графіки залежності осідання від навантаження  $S=f(P)$ , параметри якого див. рис. 3.

З аналізу графіку (рис. 4) видно, що осідання голови палі від максимального навантаження при першому навантаженні  $P_{max}=2\ 100,0$  кН склало 42,65 мм (лінія 1, див. рис. 3). Після розвантаження палі, яке відбувалось ступенями по 200 кН, відбувся її підйом на 4,15 мм по лінії 2 (I цикл «навантаження – розвантаження»). При повторному навантаженні від  $P_{max}=2\ 900,0$  кН осідання

склало 37,5 мм (лінія 3, див. рис. 3), підйом палі після її розвантаження – 11 мм по лінії 4 (II цикл «навантаження – розвантаження»).

Майже будь-який матеріал (окрім ідеально пружних) при повторних навантаженнях демонструє більший опір, і ґрунт не є виключенням. Загальні деформації ґрунту мають дві складові: пружна і пластична.

При першому навантаженні палі  $P_{max}=2\ 100,0$  кН максимально проявляються пластичні деформації. Деформації ґрунту при повторному навантаженні палі показують практично лінійну залежність до навантаження  $P=1\ 800,0$  кН. При навантаженні  $P=2\ 100,0$  кН

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

(що відповідає  $P_{max}$  при I циклі, пунктирна лінія рис. 3) осідання складало 9 мм, що складає 1/5 частину від осідання при I навантаженні.

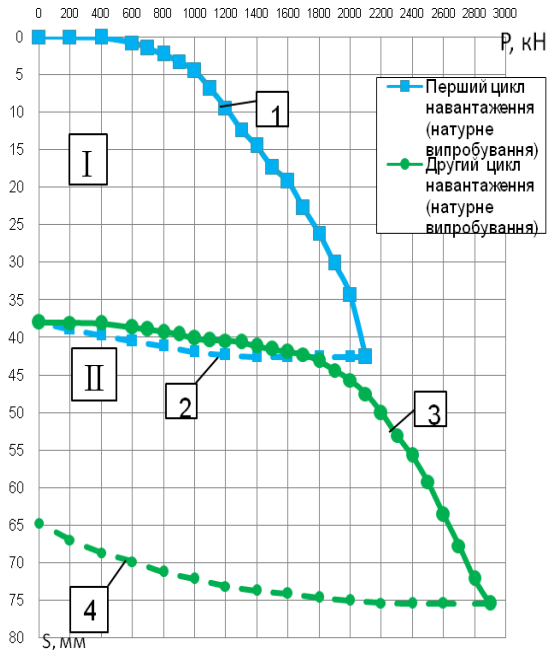


Рис. 4. Графіки «навантаження – осідання» бурюін'єкційної палі:

I – перший цикл «навантаження – розвантаження»;  
 II – другий цикл «навантаження – розвантаження»;  
 1, 3 – лінії навантаження при I та II випробуваннях відповідно, 2, 4 – лінії розвантаження при I та II випробуваннях відповідно

При багаторазовому прикладанні навантаження до палі загальні деформації ґрунту основи наближаються до деякої межі, пластичні деформації з кожним навантаженням палі мають тенденцію до зменшення.

При великій кількості циклів «навантаження – розвантаження» проявляються переважно пружні деформації (тобто ґрунт набуває пружно-ущільненого стану) має практичне значення для приведення осідань палі до однакових значень, що особливо необхідно при зведенні будівель підвищеної поверховості.

### Наукова новизна та практична значимість

В роботі отримані нові результати польових досліджень впливу повторного статичного навантаження на осідання бурюін'єкційної палі великого діаметру. Повторне статичне навантаження палі дозволяє виявити максимальний потенціал їх несучої здатності у заданих інженерно-геологічних умовах, оскільки наванта-

ження ведеться до «зриву» палі. А також виключити послаблений ґрунт під подошвою палі, викликаний технологічною особливістю СФА-технології.

### Висновки

При I циклі максимально проявляються пластичні деформації. При II циклі – залежність осідання від навантаження демонструє практично лінійну залежність до певного показника, при навантаженні що відповідає  $P_{max}$  при I циклі, осідання складає 1/5 частину від загального при I циклі.

Повторне статичне навантаження палі зафіксувало збільшення максимального навантаження на палю на 27 % і зменшення її осідання при цьому на 12 %.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бікус, К. М. Вплив попереднього навантаження палі на зниження їх осідань : Дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Бікус Катерина Михайлівна. – Дніпропетровськ : ДВНЗ ПДАБА, 2015. – 210 с.
- Бойко, І. П. Польові методи випробування палі статичними навантаженнями [Текст] / І. П. Бойко // Основи і фундаменти. – Київ : Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, 2015. – Вип. 36. – С. 3-8.
- Зоценко, М. Л. До проектування і виготовлення бурюін'єкційних палі [Текст] / М. Л. Зоценко, В. П. Левченко, В. В. Мірошніченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. научн. трудов. – Днепропетровск : ГВУЗ ПГАСА, 2011. – Вип. 61. – С. 195-206.
- ДСТУ Б В.2.1-27:2010 Палі. Визначення несучої здатності за результатами палювих випробувань [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с.
- Романенко, А. В. Аналіз достовірності визначення несучої здатності бурюін'єкційних палі за діючими методиками СНіП [Текст] / А. В. Романенко, І. В. Маєвська // Будівельні конструкції. Випуск 75 : Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування : міжвід. наук.-техн. зб. наук. пр. / Н.-д. ін.-т буд. конструкцій (НДІБК). – Київ, 2011. – Кн. 2. – С. 164-169.
- Седін, В. Л. Вплив вдавлювального навантаження на деформативність основ бурюін'єкційних палі [Текст] / В. Л. Седін, К. М. Бікус, А. М. Мельник // Основи і фундаменти : міжвідом. наук.-техн. зб. – Київ : Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт, 2014. – Вип. 35. – С. 9-20.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

7. Седін, В. Л. Особливості влаштування буропін'єкційних паль великого діаметру в багатопшарових глинистих ґрунтах [Текст] / В. Л. Седін, А. М. Мельник, К. М. Бікус, К. А. Шикотюк // Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : Полт. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка, 2015. – Вип. 1(43). – С. 214-221.
8. Улицкий, В. М. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям) [Текст] / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин. – Санкт-Петербург : Георекострукция, 2012. – 288 с.
9. Brandl H. Cyclic preloading of piles and box-shaped deep foundations. Geotechnical Challenges in Megacities: Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering, [Moscow, 7-10 June 2010]. ISSMGE, Russian Society for Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation. Moscow, 2010, Vol. 1, pp. 3-28.
10. Fleming K., Weltman A., Randolph M., Elson K. Piling Engineering. London, New York, Taylor and Francis, 2008. 398 p.
11. Schell P., Szepesházi R., Szilvágyi L., Wolf Á. Combined static and dynamic pile load test programme on the Hungarian M6-M60 motorway project. Proceedings of XV Danube-European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) H. Brandl & D. Adam (eds.), 9-11 September 2014, Vienna, Austria. Vienna University of Technology, Vol. 1 & 2, no. 081, pp. 813-818.
12. Zhussupbekov A. Zh., Uteпов Ye. B., Morev I. O. Piling Foundations on Challenging Ground Conditions in Kazakhstan. Proceedings of XV Danube-European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) H. Brandl & D. Adam (eds.), 9-11 September 2014, Vienna, Austria. Vienna University of Technology, Vol. 1 & 2, no. 211, pp. 825-830.
13. Линник, Г. О. Компресійні дослідження щебеневе-ґрунтової суміші для повторного застосування [Текст] / Г. О. Линник, В. Д. Петренко, О.Л. Тютюкін, І. М. Петрівська // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 1. – С. 40-45.
14. Бабіч, Ф. В. Особливості забудованого схилу над залізничною станцією «Зустрічна» в Дніпропетровську [Текст] / Ф. В. Бабіч, В. Л. Седін, Г. М. Левченко // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 9-13.

В. Л. СЕДИН<sup>1\*</sup>, Е. М. БИКУС<sup>2</sup>, В. В. КОВБА<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 47-02-63, эл. почта geotecprof@mail.ru

<sup>2</sup> Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 47-02-63, эл. почта geotecprof@mail.ru

<sup>3</sup> Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 47-02-63, эл. почта kovba-vladislav@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ПОВТОРНОГО СТАТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА ОСАДКУ БУРОИНЪЕКЦИОННОЙ СВАИ

**Цель.** Исследование влияния повторного статического нагружения на осадки буропін'єкційної свай. Провести два цикла натурных испытаний буропін'єкційної свай большого диаметра статическими вдавливающими нагрузками после ее «отдыха». **Результаты.** Первое нагружение свай происходило после «отдыха» 28 суток, повторное нагружение – 26 суток. При I цикле максимально проявляются пластические деформации. При II цикле – график «осадка – нагрузка» демонстрирует практически линейную зависимость до определенного показателя, при нагрузке соответствующей  $R_{max}$  при I цикле, осадка составляет 1/5 часть от общей при I цикле. Повторное статическое нагружения свай зафиксировало увеличения максимального нагружения на сваю на 27 % и уменьшения ее осадки при этом на 12 %. **Научная новизна.** Получены новые результаты полевых исследований влияния повторного статического нагружения на осадку буропін'єкційної свай большого диаметра. **Практична значимость.** Повторное статическое нагружение свай позволяет выявить максимальный потенциал их несущей способности в заданных инженерно-геологических условиях, поскольку нагружения ведется до «срыва» свай. А также исключать ослаблений ґрунт под подошвой свай, вызванный технологической особенностью изготовления буропін'єкційних свай.

**Ключевые слова:** буропін'єкційная свая; повторное нагружение; статические испытания; «отдых» и осадка свай

V. L. SEDIN<sup>1\*</sup>, E. M. BIKUS<sup>2</sup>, V. V. KOVBA<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Foundation Engineering Department, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 47-02-63, e-mail geotecprof@mail.ru

<sup>2</sup> Foundation Engineering Department, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 47-02-63, e-mail geotecprof@mail.ru

<sup>3</sup> Foundation Engineering Department, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 47-02-63, e-mail kovba-vladislav@mail.ru

## THE INFLUENCE OF REPEATED STATIC LOADING ON CFA-PILE SETTLEMENT

**Purpose.** To investigate the influence of repeated static preloading on CFA-pile settlement. To conduct two cycles of large diameter CFA-pile field tests with pressing loading after a stress-relief period. **Methodology.** The first pile preloading was performed after a 28-day stress relief period, the repeated pile preloading - in 26-day period. Plastic strains have become evident after the first cycle. In the course of the second cycle 'settlement-load' curve shows linear dependence on a definite index, when the loading is  $P_{max}$  in the first cycle the settlement is 1/5 of the total. After repeated static pile loading, maximum pile load capacity has increased by 27% whereas its settlement has decreased by 12 %. **Originality.** New field tests results of the influence of repeated static loading on a CFA-pile settlement have been obtained. **Practical value.** The repeated static pile loading enables to determine the ultimate bearing capacity under certain engineering and geological conditions since the loading is performed until the pile is collapsed. It makes also possible to eliminate soil weakening under the pile heel due to technological fabrication features of continuous flight augering piles.

*Keywords:* CFA-pile; repeated static loading; static soil tests; pile stress-relief period; pile settlement

### REFERENCES

1. Bikus K. M. *Vplyv poperednjogho navantazhennja palj na znyzhennja jikh osidanj*. Avtoreferat Diss. [Influence of the previous loading of piles on the decline of their settling]. Dnipropetrovsk, 2015. 210 p.
2. Bojko I. P. *Poljovi metody vyprovuvannja palj statychnymy navantazhennjamy* [Field methods of piles test by the static loadings]. *Osnovy i fundamenti – Bases and fundamentals*, Kyjiv, 2015, issue 36. pp. 3-8.
3. Zocenko M. L., Levchenko V. P., Miroshnychenko V. V. *Do proektuvannja i vygotovlennja buroin'jekcijnykh palj* [About a planning and making of CFA-piles]. *Stroyteljstvo, materjalovedenye, mashynostroenye – Building, science of materials, machine building*. – Dnepropetrovsk, 2011, issue 61. pp. 195-206.
4. *DSTU B V.2.1-27:2010. Pali. Vyznachennja nesuchoji zdutnosti za rezuljtatamy paljovykh vyprovuvanj* [State Standard B V.2.1-27:2010 Piles. Determination of bearing strength as a result of piles tests]. Kyjiv, Minregionbud Ukrajinu, 2011. 11 p.
5. Romanenko A. V., Majevsjka I. V. *Analiz dostovirnosti vyznachennja nesuchoji zdutnosti buroin'jekcijnykh palj za dijuchymy metodykamy SNI P* [Analysis of authenticity of bearing strength determination of CFA-piles after the operating BNIP methods]. *Mekhanika gruntiv, gheotekhnika ta fundamentobuduvannja – Mechanics of soils, geotechnic and fundamentals building*, Kyjiv, 2011, Vol. 2. pp. 164-169.
6. Sedin V. L., Meljnyk A. M., Bikus K. M. *Vplyv vdavljuvalnogho navantazhennja na deformatyvnistj osnov buroin'jekcijnykh palj* [Influencing of the stamp loading on deformability bases of CFA-piles]. *Osnovy i fundamenti – Bases and fundamentals*, Kyjiv, 2014, issue 35. pp. 9-20.
7. Sedin V. L., Meljnyk A. M., Bikus K. M., Shykotjuk K. A. *Osoblyvosti vlashtuvannja buroin'jekcijnykh palj velykogho diametru v baghatosharovykh ghlynistykh gruntakh* [Features of arrangement of large diameter CFA-piles in multilayer clay]. *Ghaluzeve mashynobuduvannja, budivnyctvo – Local machine building, building*. – Poltava, 2015, 1(43). pp. 214-221.
8. Ulitskiy V. M., Shashkin A. G., Shashkin K. G. *Gid po geotekhnike (putevoditel po osnovaniyam, fundamentam i podzemnym sooruzheniyam)* [Geotechnical Guide. Guide of bases, fundamentals and underground constructions]. Sankt-Peterburg, Georekonstruktsiya, 2012. 288 p.
9. Brandl H. Cyclic preloading of pails and box-shaped deep foundations. *Geotechnical Challenges in Megacities: Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering, [Moscow, 7-10 June 2010]*. ISSMGE, Russian Society for Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation. Moscow, 2010, Vol. 1, pp. 3-28.



## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

10. Fleming K., Weltman A., Randolph M., Elson K. Piling Engineering. London, New York, Taylor and Francis, 2008. 398 p.
11. Schell P., Szepesházi R., Szilvágyi L., Wolf Á. Combined static and dynamic pile load test programme on the Hungarian M6-M60 motorway project. *Proceedings of XV Danube-European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014)* H. Brandl & D. Adam (eds.), 9-11 September 2014, Vienna, Austria. Vienna University of Technology, Vol. 1 & 2, no. 081, pp. 813-818.
12. Zhussupbekov A. Zh., Uteпов Ye. B., Morev I. O. Piling Foundations on Challenging Ground Conditions in Kazakhstan. *Proceedings of XV Danube-European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014)* H. Brandl & D. Adam (eds.), 9-11 September 2014, Vienna, Austria. Vienna University of Technology, Vol. 1 & 2, no. 211, pp. 825-830.
13. Lynnyk Gh. O., Petrenko V. D., Tjutjkin O. L., Petrivsjka I. M. *Kompresijni doslidzhennja shhebenevo-gruntovoji sumishi dlja povtornogho zastosuvannja* [Compression researches of the crushed stone-ground mixed for the repeated use]. *Mosty ta tuneli : teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 40-45.
14. Babich F. V., Sedin V. L., Levchenko Gh. M. Osoblyvosti zabudovanogho skhyly nad zaliznychnoju stancijeju «Zustrichna» v Dnipropetrovsjku [Features of built-up slope above the railway station «Zustrichna» in Dnepropetrovsk]. *Mosty ta tuneli : teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 9-13.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна), д.т.н, проф. М. І. Нетесою (Україна).*

Надійшла до редколегії 05.12.2015.

Прийнята до друку 21.12.2015.