УДК 625.154.5:624.131.384

В.Л. Сєдін, д.т.н., професор
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
А.М. Мельник, головний інженер проектів
ТОВ «Гідроспецбудмонтаж»
К.М. Бікус, м.н.с., аспірант
К.А. Шикотюк, інженер-будівельник, здобувач
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

ОСОБЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ БУРОІН'ЄКЦІЙНИХ ПАЛЬ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРА В БАГАТОШАРОВИХ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТАХ

Висвітлено особливості влаштування буроін'єкційних паль великого діаметра в багатошарових глинистих ґрунтах, пов'язані з неконтрольованим надлишковим вийманням слабкого ґрунту, що призводить не тільки до перевитрат бетонної суміші, а й до значних осідань поверхні дна котловану. Результати статичних випробувань підтверджують збільшення значень фактичної несучої здатності паль порівняно з розрахунковою.

Ключові слова: *буроін'єкційна паля, статичні випробування ґрунтів, багатошарові глинисті ґрунти.*

В.Л. Седин, д.т.н., профессор
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»
А.М. Мельник, главный инженер проектов
ООО «Гидроспецстроймонтаж»
Е.М. Бикус, м.н.с., аспирант
К.А. Шикотюк, инженер-строитель, соискатель
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА В МНОГОСЛОЙНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ

Изложены особенности устройства буроинъекционных свай большого диаметра в многослойных глинистых грунтах, связанные с неконтролируемым излишним вынесением слабого грунта, приводящим не только к перерасходу бетонной смеси, а и к значительным осадкам поверхности дна котлована. Результаты статических испытаний подтверждают увеличение значений фактической несущей способности свай в сравнении с расчетной.

Ключевые слова: *буроинъекционная свая, статические испытания грунтов, многослойные глинистые грунты.*

V. Sedin, ScD, Professor
SHEI «Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture»
A. Melnyk, Chief Project Engineer
Gydrospecstroymontazh Ltd
K. Bikus, junior researcher, post-graduate
K. Shykotiuk, civil engineer
SHEI «Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture»

SPECIFICS OF CONTINUOUS FLIGHT AUGER PILE OF LARGE DIAMETER PLACING IN MULTILAYER CLAY SOILS

Article deals with specifics of continuous flight auger piles of large diameter placing in multilayer clay soils associated with uncontrolled excess removing of weak soil, which leads not only to concrete mixture overrun, but also to significant shrinkage of pit's bottom. The results of static tests confirm an increase in the values of the piles' actual bearing capacity in comparison to with estimated.

Keywords: *continuous flight auger pile (CFA pile), static soil tests, multilayer clay soils.*

Вступ. У сучасних умовах геотехнічного будівництва набули широкого розповсюдження буроін'єкційні палі, які виготовляють з використанням технології CFA (від англ. Continuous Flight Auger) – шнекового бура безперервної дії. Згідно з класифікацією ДБН В.2.1-10:2009 (зміна 1) палі, виготовлені за технологією CFA, відносять до «буроін'єкційних паль великого діаметра». Відповідно до класифікації [7], такі палі називають «буронабивні палі із застосуванням технології безперервного порожнистого шнека». Надалі в статті буде застосовуватись термін «буроін'єкційні палі», що має на увазі буроін'єкційні палі великого діаметра (620 мм), виготовлені з використанням технології CFA.

Буроін'єкційні палі влаштовуються шляхом безперервного прохідного порожнистого шнека, який виймає ґрунт і доставляє його на поверхню шляхом гвинтової лопаті, з подальшим заповненням свердловини бетонною сумішшю під тиском, що подається в процесі повільного підйому шнека через клапан, розташований в його нижній частині. Цілісність паль, яка гарантується контролюванням тиску на постійно зростаючий бетонний стовп, здійснюється за допомогою відповідних датчиків, установлених на механізмах. Армування таких паль виконують шляхом занурення в бетонну суміш каркаса або окремих стрижнів [4, 6, 7].

Основною ознакою виготовлення буроін'єкційних паль є те, що технологія CFA сприяє виникненню бокового тиску на ґрунт при зануренні і проходженні шнека, що приводить до часткового ущільнення на контакті зони «паля – ґрунт». Також обов'язковим технологічним елементом є процес обтиснення бетонної суміші при заповненні свердловини, що сприяє ущільненню ґрунту навколо паль, збільшенню його механічних характеристик і, відповідно, покращенню сумісної роботи ґрунту і палі [1]. Перевагами технології є висока продуктивність і якість заповнення свердловини бетонною сумішшю за рахунок її подачі під тиском, що особливо ефективно при проходженні великих товщ пісків, напівтвердих і тугопластичних суглинків, коли застосування забивних, вдавлюваних чи бурових паль просто фізично неможливе [4]. Однак у багатошарових глинистих ґрунтах технологія CFA стикається зі значними складнощами.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Дослідження буроін'єкційних паль і технології їх виготовлення широко опубліковані [1, 3, 8], проте досі існує коло невирішених питань, пов'язаних із проектуванням буроін'єкційних паль і якістю їх

виконання, зокрема в складних інженерно-геологічних умовах. Діючі норми розглядають буроін'єкційні палі практично, як і буронабивні, що призводить до заниження розрахункової несучої здатності таких паль і, як наслідок, до збільшення їх геометричних розмірів чи кількості на майданчику [5].

Досвід [2, 5] улаштування та статичних випробувань буроін'єкційних паль свідчить про те, що їх фактична несуча здатність у 1,5 – 2,5 раза більша, ніж розрахунково-теоретична – і це не дивно, бо в ДБН В.2.1-10:2009 закладено більш низькі коефіцієнти умов роботи паль по бічній поверхні та під її вістрям для зниження ризиків проектування. За даними роботи [3], найбільша різниця несучої здатності таких паль при співставленні значень, розрахованих за нормами, та даних статичних випробувань зафіксована для лесових суглинків. Улаштування паль за вказаною технологією в глинистих ґрунтах висвітлено в роботах [4, 8]. Автори [8] наголошують навіть на небезпечності технології, яка полягає в неконтрольованому надлишковому вийманні ґрунту при загвинчуванні шнека і формуванні вирви осідання, що особливо небезпечно для існуючої поруч забудови.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У багатошарових глинистих ґрунтах, шари яких суттєво різняться за міцністю (фізико-механічними характеристиками), при проходженні твердих шарів технологія CFA стикається зі складнощами. Тверді ґрунти шнек зазвичай проходить, слабкі шари при цьому зазнають значного тиксотропного розущільнення, особливо водонасичені. Недоврахування розущільнення глинистих ґрунтів навколо паль призводить до перевитрат бетонної суміші.

Слід зазначити, що розрахункова методика визначення несучої здатності буроін'єкційних паль недосконала. На сьогоднішній день їх несучу здатність приймають переважно на основі випробувань ґрунтів натурними палями, що відповідають проектним, тому існує потреба у достовірності визначення несучої здатності і накопиченні цих результатів статичних випробувань.

Постановка завдання. Проаналізувати особливості влаштування буроін'єкційних паль великого діаметра в багатошарових глинистих ґрунтах. Порівняти несучу здатність паль різного діаметра з результатами статичних випробувань.

Основний матеріал і результати. Розглядається об'єкт «Будівництво багатоповерхового житлового комплексу» у м. Дніпропетровськ. Геологічний переріз майданчика (рис. 1) до глибини 46,0 м представлений лесовим комплексом верхньо-, середньо- і нижньочетвертинних відкладень елювіально-делювіального (ed), еолово-делювіального (vd) і делювіального (d) генезису. Літологічно лесова товща представляє собою перешарування лесових суглинків (ІГЕ-3, 5, 7) і супісків (ІГЕ-4, 6, 8), що підстеляються щільними нижньочетвертинними червоно-бурими суглинками (ІГЕ-9). Рельєф майданчика рівний. Поверхня спланована насипними ґрунтами потужністю 0,8 – 1 м. З негативних фізико-геологічних явищ відзначимо наявність шарів лесових ґрунтів, здатних проявляти властивості просідання від власної ваги, і додаткового навантаження при водонасиченні. Сумарна величина просідання від власної ваги складає Ssl=5,71 см.

Гідрогеологічні умови майданчика будівництва характеризуються наявністю одного безнапірного четвертинного водоносного горизонту. Рівень підземних вод зафіксований на глибинах 9,9 – 10,1 м від денної поверхні ґрунту. Водомісткими є лесові ґрунти (ІГЕ 4 – 8). Коефіцієнти фільтрації ґрунтів зони аерації і водомістких ґрунтів змінюються в широкому діапазоні від 0,02 – 0,30 м/добу (суглинки) до 0,55 – 0,62 м/добу (супіски). Регіональним водотривом слугують щільні червоно-бурі суглинки (ІГЕ-9), які залягають на глибинах 40,2 – 40,3 м. Живлення водоносний горизонт отримує за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і течій з водонесучих комунікацій.

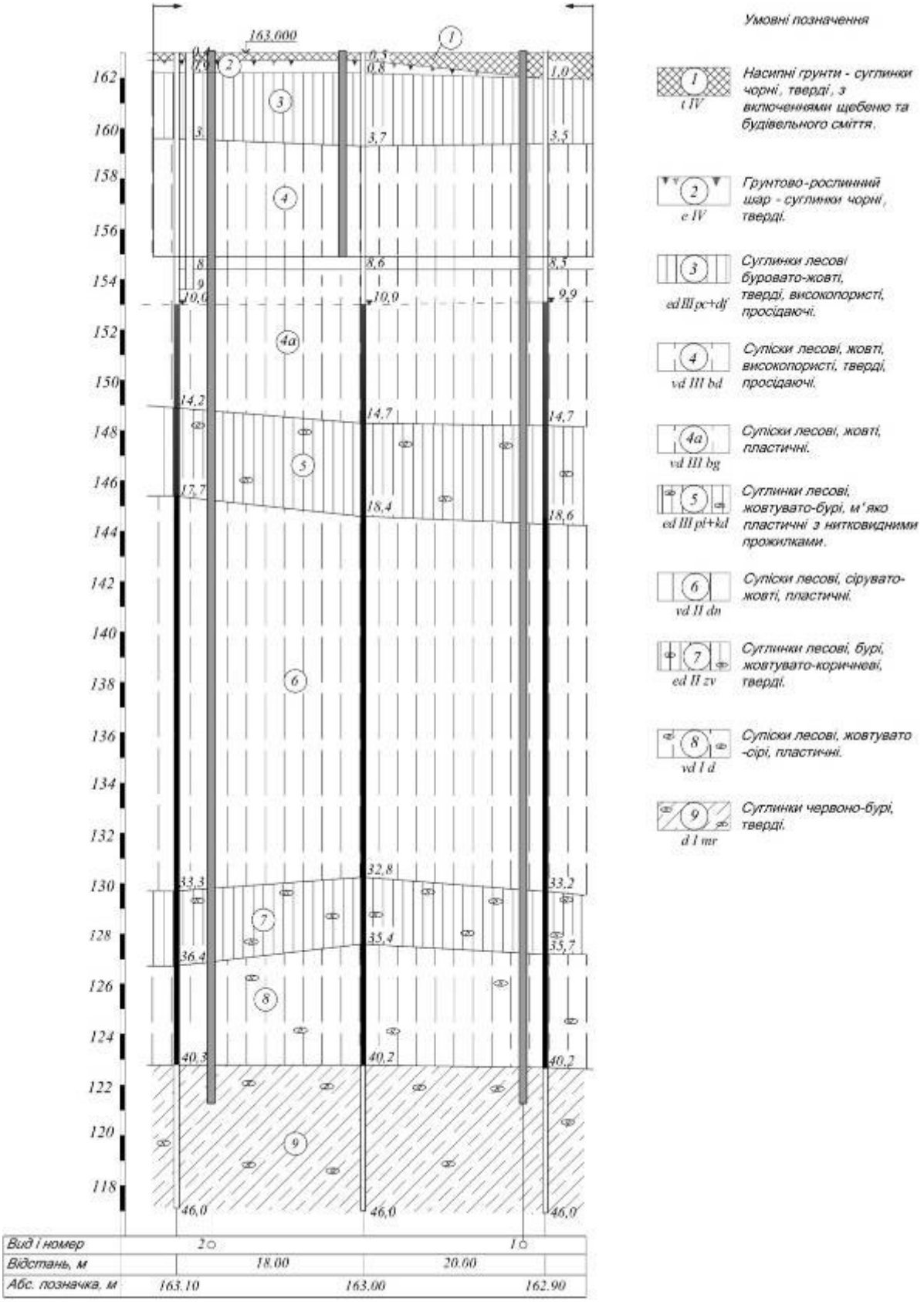

Рис. 1. Інженерно-геологічний переріз майданчика будівництва

Інженерно-геологічний переріз території подано на рис. 1. З його аналізу зрозуміло, що будинок зводиться на багатошаровій ґрунтовій основі, верхні шари якої є слабкими з точки зору сприймання повного навантаження від будинку. Це викликало необхідність улаштування пальового фундаменту, що передає навантаження на глибші, міцніші, шари ґрунту, зокрема ІГЕ-9. Пальовий фундамент складається з буроін'єкційних паль, об'єднаних ростверком у вигляді залізобетонної плити товщиною 1,5 м. Проектом передбачені палі діаметром 620 мм. Розрахункове навантаження на палю, прийняте на основі проведених натурних випробувань паль статичним вдавлювальним навантаженням, N=2 000 кН.

У ґрунтах природної вологості випробувано три дослідні буроін'єкційні палі з діаметром стовбура 620 мм. Виготовлення цих паль відбувалось з поверхні майданчика за умови заглиблення низу палі на 1,5 м у суглинки (ІГЕ-9) (рис. 1).

Довжина дослідних паль у такому випадку була в межах 41,64 – 41,73 м. Навантаження кожної палі здійснювалось статичним осьовим вдавлювальним навантаженням ступенями по 100 кН (окрім перших трьох ступенів по 200 кН) за допомогою трьох гідравлічних домкратів сумарною площею поршнів 1 500 см^2, які встановлювались на палю і впирались у систему упорних балок анкерного стенду, закріпленого на 28-ми анкерних палях.

Навантаження на палю визначалось за манометром. Кожна ступінь навантаження витримувалась до умовної стабілізації осідання палі. Осідання палі при випробуванні фіксувались двома прогиномірами, встановленими на реперних пристроях, з точністю до 0,01 мм. Випробування було проведено за нормативною методикою відповідно ДСТУ Б В.2.1-27:2010. За даними журналів статичних випробувань дослідних паль (ДП) побудований графік залежності осідання від навантаження *S=f(P)*, параметри якого приведені на рис. 2.

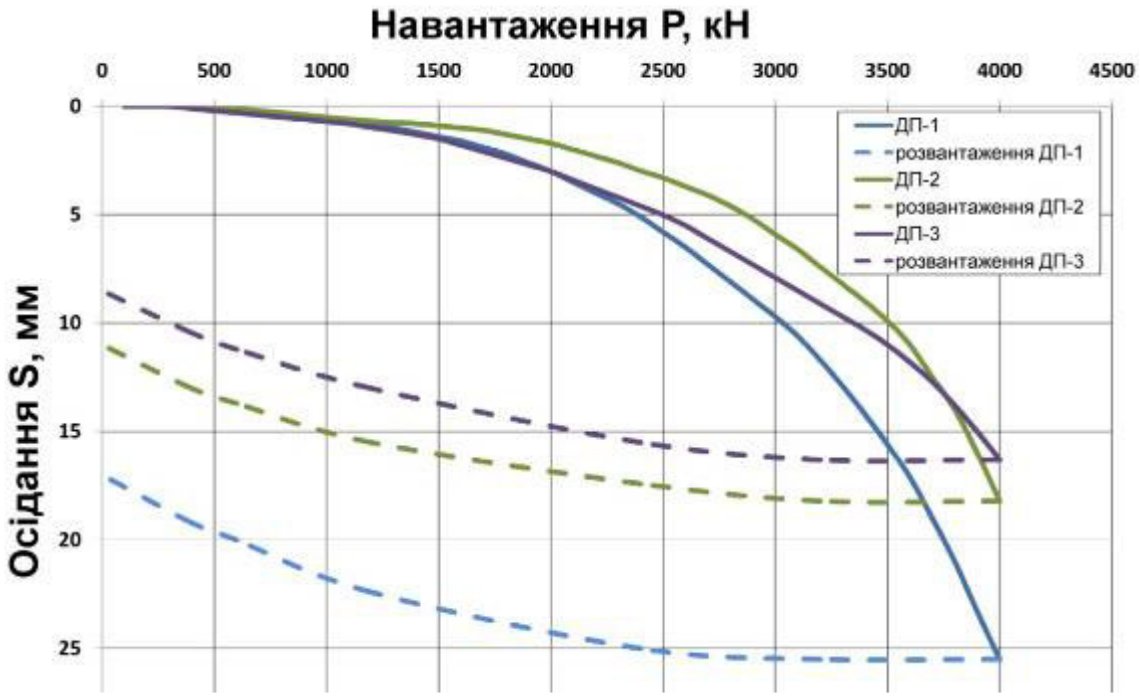

Рис. 2. Графік залежності «осідання – навантаження» ДП 1 – 3

З аналізу графіка (рис. 2) видно, що для трьох ДП максимальне навантаження склало P_{max}=4 000 кН. Осідання голови ДП-1 при цьому склало 25,6 мм, що показано суцільною лінією на графіку. Після розвантаження палі, яке проходило ступенями по

200 кН, відбувся її підйом на 8,85 мм, що показано пунктирною лінією на графіку. Осідання голови ДП-2 склало 18,25 мм. Після розвантаження палі відбувся її підйом на 7,14 мм. Осідання голови ДП-3 склало 16,46 мм. Після розвантаження палі відбувся її підйом на 8,1 мм.

Перші ряди робочих паль виконувались за проектом (нормально), а от виконання подальших рядів значно ускладнилось. Оскільки майданчик складено товщею шаруватих суглинків і супісків, часте порушення природної структури масиву бурінням викликало перем'яття слабкого ґрунту. Проектні палі виконувались за умови заглиблення низу палі на 1,5 м в ІГЕ-9 (суглинки тверді, з показником текучості I_L=0,11 і модулем деформації E=29 МПа). У слабкий ґрунт шнек загвинчується легко, але для входження в щільний (твердий) ґрунт (ІГЕ-7, 9) необхідно прикласти зусилля вдавлювання. На жаль, технологією CFA це непередбачено. У результаті шнек обертається на місці, що сприяло неконтрольованому надлишковому винесенню слабкого ґрунту на поверхню. За рахунок цього явища відбулось значне осідання поверхні дна котловану – близько 500 – 600 мм, що викликало необхідність досипання шару ґрунту до проектної позначки низу ростверку.

Такий неконтрольований процес значно послабив ґрунтовий масив у цілому, що може призвести до формування вирви осідання існуючої поряд території. Оскільки відстань до існуючої забудови була більше 15 м, заздалегідь було виконано огородження котловану, що гарантувало безпеку існуючій забудові. Однак за умови застосування технології CFA в подібних геологічних умовах у щільній міській забудові необхідна обережність, обов'язкове виконання заходів, що виключають деформації існуючих поряд будівель від виносу ґрунту з основи їх фундаментів і геотехнічний моніторинг. Слід виконувати не тільки вимірювання і наукові дослідження, а і їх розрахунковий аналіз та зворотний зв'язок з проектом, що є важливішою складовою гарантії якості й надійності майбутньої будівлі.

У результаті для виготовлення робочих паль перевитрати бетонної суміші склали більше ніж в 2 рази. Тому було прийняте рішення виконати суцільний контроль якості робочих паль, для якого використовують неруйнівні методи, що дозволяють визначити фактичні довжини паль, наявність локалізації дефектів й оцінити механічні характеристики бетону та якість бетонування стовбура протягом усієї довжини паль.

Оскільки контроль якості будівельної продукції – невід'ємна частина будівельного виробництва, а виробництво пальових робіт супроводжується вхідним, операційним і приймальним контролем, який зазвичай здійснюють виконавці робіт, представник проектної організації і представник замовника, для виконання приймального контролю неруйнівними методами була залучена спеціалізована науково-дослідна організація.

Згідно з результатами сейсмоакустичних геофізичних досліджень на об'єкті геометричні розміри за значеннями середньої глибини положення вибою досліджуваних паль відповідають проекту, складаючи діапазон 32,4 – 32,8 м (±2 %) для паспортного відхилення приладів при вимірюваннях і розрахунковому визначенню довжини. Застосований бетон класу В25. Діаметр перерізу паль перевищив проектне значення (620 мм) на 20 – 70 %. Дефектів по суцільності стовбура паль не виявлено.

Унаслідок цього, несуча здатність паль виявилась більшою за визначену на основі випробувань ґрунтів натурними палями. Замінювати геотехнологію CFA на більш щадні (буронабивні палі, що виготовляються під захистом обсадної труби) було недоцільно, через технічні складнощі. Тому для економії матеріалу проектною організацією прийнято рішення зменшення діаметра паль з 620 мм до 520 мм. У зв'язку з цим на даному майданчику додатково було випробувано статичним вдавлювальним

навантаженням у ґрунтах природної вологості дві дослідні буроін'єкційні палі з діаметром стовбура 520 мм.

Виготовлення ДП-4 і ДП-5 відбувалось зі спланованої поверхні котловану за умови заглиблення низу палі на 1,5 м у суглинки (ІГЕ-9) (рис. 1). Довжина дослідних паль у такому випадку була 37,8 м.

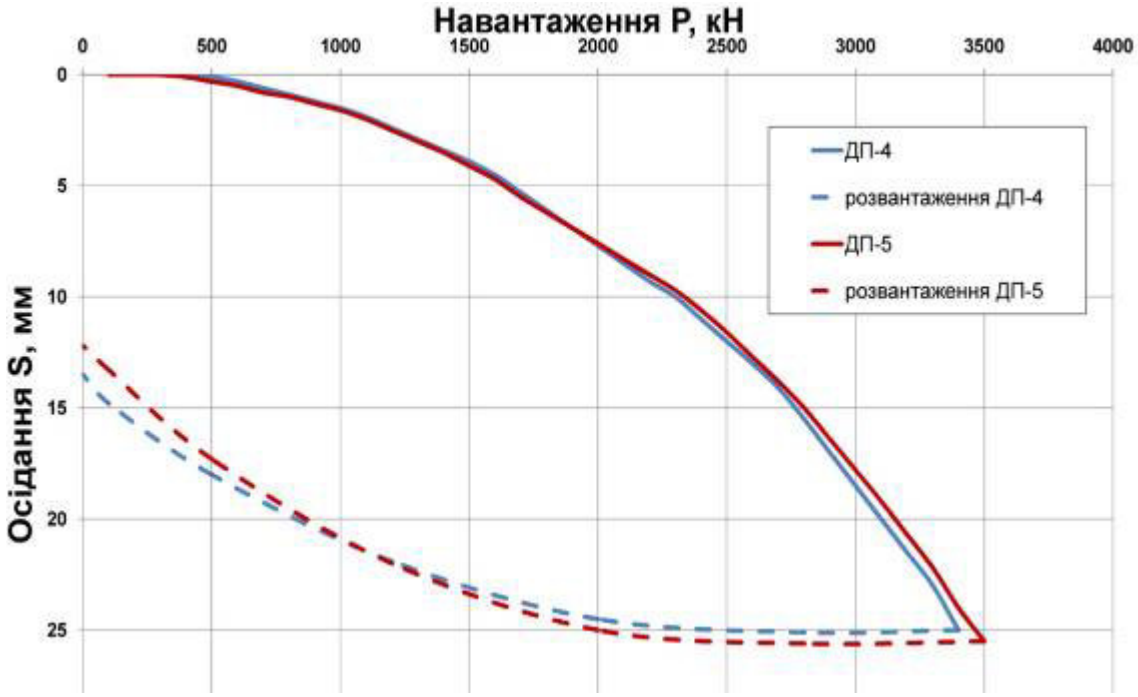

Рис. 3. Графік залежності «осідання – навантаження» ДП-4 і ДП-5

З аналізу рис. 3 видно, що для ДП-4 максимальне навантаження склало P_{max}=3 400 кН. Осідання голови палі при цьому склало 24,99 мм. Після розвантаження палі відбувся її підйом на 11,58 мм. Для ДП-5 максимальне навантаження склало P_{max}=3 500 кН. Осідання голови палі склало 25,67 мм. Після розвантаження палі відбувся її підйом на 13,19 мм.

Також необхідно зазначити, що характер графіків для всіх дослідних паль має пологе окреслення без типового для забивних і буронабивних паль зриву. Таке окреслення мають графіки випробувань паль ущільнення [1].

Висновки. Проаналізовано особливості влаштування буроін'єкційних паль великого діаметра в багатошарових глинистих ґрунтах. У складних інженерно-геологічних умовах, зокрема за наявності лесових суглинків і супісків, коли верхні шари складено слабкими ґрунтами, а несучим шаром для паль є щільний ґрунт, входження в який потребує зусиль, технологія влаштування буроін'єкційних паль сприяє неконтрольованому надлишковому винесенню слабкого ґрунту на поверхню. Виявлено, що такий ефект призводить не тільки до перевитрат бетонної суміші, а й до значних осідань поверхні дна котловану, які вимагають заходів щодо досипання ґрунту до проектної позначки дна котловану, що сприяє додатковим фінансовим витратам.

При проведенні приймального контролю неруйнівними методами (сейсмо-кустичні геофізичні дослідження) було зафіксовано, що внаслідок перевитрат бетонної суміші діаметр перерізу паль перевищив проектне значення (620 мм) на 20 – 70 %. Через це несуча здатність паль виявилась більшою за передбачувану. Для економії було прийнято рішення зменшити діаметр паль з 620 мм до 520 мм. У зв'язку з цим на

даному майданчику додатково було випробувано статичним вдавлювальним навантаженням дослідні буроін'єкційні палі з діаметром стовбура 520 мм, що підтвердило їх проектну несучу здатність. Результати статичних випробувань також підтверджують збільшення значень фактичної несучої здатності паль порівняно з розрахунковою.

Результати роботи також підтверджують необхідність проведення систематичного геотехнічного моніторингу для можливості інтерактивного коригування проекту. Недивлячись на значну розповсюдженість технології CFA в сучасному геотехнічному будівництві, вона досі невідпрацьована і потребує подальшого вдосконалення. Необхідно накопичувати дані результатів статичних випробувань для відповідного оновлювання нормативної бази України.

Література

1. Зоценко, М.Л. До проектування і виготовлення буроін'єкційних паль / М.Л. Зоценко, В.П. Левченко, В.В. Мірошниченко // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2011. – Вып. 61. – С. 195 – 206.

2. 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. – Вип. 75, книга 2. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С. 150 – 158.

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

4. Мангушев, Р.А. Современные свайные технологии: Учебное пособие / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 240 с..

5. Романенко, А.В. Аналіз достовірності визначення несучої здатності буроін'єкційних паль за діючими методиками СНіП / А.В. Романенко, І.В. Маєвська // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць. – Вип. 75, книга 2. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С. 164 – 169.

6. Система CFA (Continuous Flight Auger) – с использованием шнекового бура непрерывного действия: иллюстративное описание. – Trevi Group, 2002. – 20 с.

7. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.

8. Улицкий, В.М. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям) / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: ПИ «Георекострукция», 2012. – 288 с.

Надійшла до редакції 20.12.2014

© В.Л. Сєдін, А.М. Мельник, К.М. Бікус, К.А. Шикотюк