

УДК 625.154.5:624.131.384

В.Л. Сєдін, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри¹

К.М. Бікус, молодший науковий співробітник, аспірант¹

А.М. Мельник, головний інженер проектів²

¹ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

²Спеціалізована будівельна організація ТОВ «Гідроспецбудмонтаж»

ВПЛИВ ВДАВЛЮВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ОСНОВ БУРОІН'ЄКЦІЙНИХ ПАЛЬ

АНОТАЦІЯ: Представлено результати статичних випробувань буроін'єкційної палі при замочуванні ґрунту, виявлено ефект доуцільнення розпушеного ґрунту під вістря палі, створеного внаслідок поршневого ефекту. Запропоновано спосіб зниження деформативності основи таких видів палей шляхом застосування попереднього навантаження палей.

Ключові слова: БУРОІН'ЄКЦІЙНІ ПАЛІ, СТАТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ, РОЗПУШЕННЯ І УЦІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. В сучасних умовах геотехнічного будівництва набули широкого розповсюдження буроін'єкційні палі (СФА-палі, від англ. continuous flight auger piles). 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 підйому шнека через клапан, розташований в його нижній частині. Армування таких палей виконують шляхом занурення в бетонну суміш каркасу або окремих стрижнів [4, 7].

Технологія добре зарекомендувала себе в багат шарових ґрунтах, шари яких суттєво різняться за міцністю. Особливо ефективна при прохідці великих товщ пісків, напівтвердих і тугопластичних суглинків, коли застосування забивних, вдавлюваних чи бурових палей просто фізично неможливо [4]. Перевагами технології є висока продуктивність і якість

заповнення свердловини бетонною сумішшю за рахунок її подачі під тиском, що сприяє поліпшенню сумісної роботи ґрунту і палі.

Відомо, що до 60 % браку дає порушення виробничо-технологічної дисципліни, до 25 % – недосконалість технології і поганий стан обладнання, до 10 % – застосування неякісних матеріалів, решту – інші причини [1]. З ростом технічної бази будівництва відбувається і зростання виробничо-технологічної дисципліни, внаслідок чого з'являються нові причини неякісного виконання фундаментів, зокрема технічно необґрунтовані рішення замовників та недосконалість нормативної бази [1, 3], точніше її повільні темпи оновлювання в порівнянні з швидким зростанням сучасних геотехнічних технологій, зокрема буроін'єкційних.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз матеріалів [4, 7, 11] поряд з багатьма перевагами вказує на наявність недоліків, пов'язаних з буроін'єкційними пальями, зокрема недоврахування їх несучої здатності в розрахунках (до 1,6 – 2 разів) [3, 5], а також недоврахування тискотропного розуцільнення водонасичених глинистих ґрунтів масиву ґрунту навколо паль, що призводить до перевитрат бетонної суміші (інколи більше ніж в два рази) [4]. Автори [8] наголошують навіть на небезпечності технології, зокрема в складних інженерно-геологічних умовах, яка полягає в неконтрольованому надлишковому вийманні ґрунту при загвинчуванні шнеку і формуванні воронки осідання. Також, заслуговують уваги дослідження проф. М.Л. Зоценко, результати яких доводять наявність процесу розпушення піщаного водонасиченого ґрунту, що відбувається не тільки у межах глибини свердловини, а й нижче її вибою [2].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Коло нерозв'язаних питань, пов'язаних з якістю буроін'єкційних паль, зокрема ґрунту під вістрям палі, підтверджує важливість і гостроту вирішення даної проблеми. Існує потреба у достовірності визначення несучої здатності паль, підвищенні рівня надійності пальної основи, зниженні абсолютних і відносних осідань основ палювих фундаментів, вдосконаленні технології і застосуванні методів зниження деформативності основи за рахунок доуцільнення ґрунту під вістрям палі.

Мета роботи. Проаналізувати результати випробування статичним вдавлювальним навантаженнями буроін'єкційної палі, запропонувати спосіб зниження деформативності основи таких видів паль.

Виклад основного матеріалу. В м. Дніпропетровськ здійснюється будівництво багатопверхового житлового будинку. Конструктивна схема будинку – каркасно-монолітна. Несучими конструкціями будинку, що утворюють жорсткий каркас, слугують залізобетонні монолітні конструкції (колони, пілони, стіни, ригелі, перекриття). Будинок зводиться на багат шаровій ґрунтовій основі, верхні шари якої є слабкими з точки зору сприймання повного навантаження від будинку. Це викликало необхідність влаштування пальового фундаменту, який складається з буроін'єкційних паль, зв'язаних ростверком у вигляді залізобетонної плити товщиною 1,4 м. Палі прийняті довжиною 14,0 м діаметром 520 мм. Розрахункове навантаження на палю прийнято $N=1\ 630\ \text{кН}$ на основі проведених натурних випробувань паль статичним вдавлювальним навантаженням.

В геоморфологічному відношенні майданчик приурочено до третьої надпойменої тераси правобережжя р. Дніпро на з'єднанні з другою терасою (північніше майданчик має уступ між терасами висотою до 4 м). Майданчик має загальний ухил поверхні в північному напрямку. Абсолютні позначки поверхні змінюються в мажах 70,20 – 73,11 м (в Балтійській системі висот).

В геологічному відношенні майданчик будівництва в межах розвіданої глибини 36,0 м представлений комплексом верхньо-середньочетвертинних відкладень еолово-делювіального, елювіально-делювіального генезисів, алювіальних середньочетвертинних відкладень, що підстеляються товщею ґрунтів кори вивітрювання скальних порід протерозой-мезозойського віку і власне скальними породами архей-протерозою.

За літологічними ознаками і показниками фізико-механічних властивостей товща ґрунтів, що досліджується, розділена на 13 інженерно-геологічних елементів: з поверхні покривні відкладення перекриті насипними ґрунтами (ІГЕ-1) і частково ґрунтово-рослинним шаром (ІГЕ-2); ІГЕ-3а – супіски лесові, жовтуваті-сірі, тверді; ІГЕ-3 – супіски лесові, просідаючі; ІГЕ-4а, ІГЕ-4 – суглинки лесові, жовтуваті-бурі, тверді, напівтверді, просідаючі; ІГЕ-5 – супіски лесові, світло-жовті, пластичні; ІГЕ-6 – суглинки лесові, жовтуваті-бурі, м'якопластичні; ІГЕ-7 – супіски лесові, пластичні; ІГЕ-8 – піски кварцові, сірі, пілуваті, щільні, насичені водою; ІГЕ-9 – дисперсна кора вивітрювання скальних порід, яка

представлена пісками різнозернистими, сірими, щільними, насиченими водою; ІГЕ-10 – дисперсна кора вивітрювання скальних порід, яка представлена каолінами первинними, сірими, твердими; ІГЕ-11 – плагіограніти сірі, середньозернисті.

З негативних фізико-геологічних явищ необхідно відмітити наявність лесових маловологих ґрунтів (ІГЕ-3, ІГЕ-4, ІГЕ-4а), здатних проявляти властивості просідання при водонасиченні від власної ваги і додаткового навантаження. Сумарна величина просідання від власної ваги складає $S_{st}=5,57$ см.

Рівень підземних вод зафіксований на глибинах 4,0 – 8,7 м від існуючої поверхні ґрунту.

Інженерно-геологічний переріз території приведено на рис. 1.

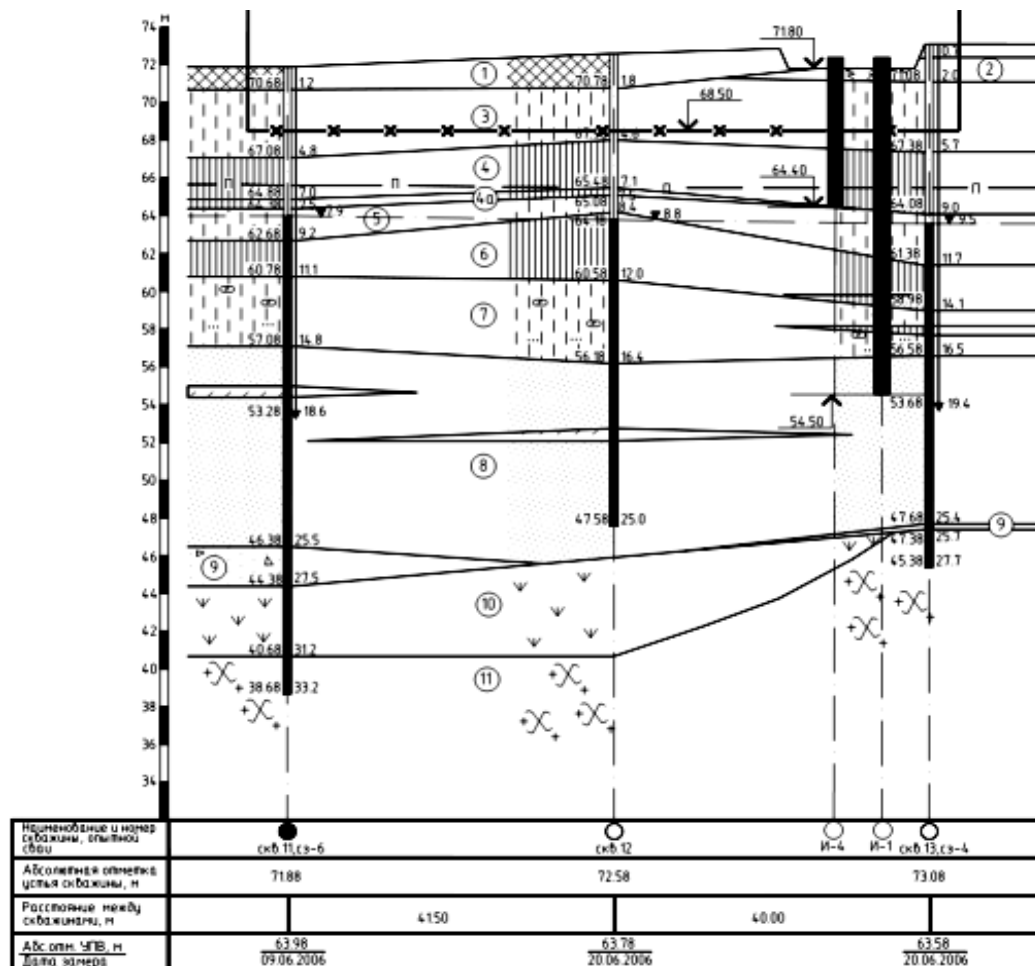


Рис. 1. Інженерно-геологічний переріз

В 2014 році було випробувано статичним осьовим вдавлювальним навантаженням в попередньо замочених ґрунтах дослідну буріне'єкційну палю (з числа робочих паль пального фундаменту) довжиною 14,0 м з

діаметром стовбура 520 мм. Випробування проводилось за нормативною методикою відповідно ДСТУ Б В.2.1-27: 2010.

Дослідна палі була виготовлена буровою установкою «Casagrande С-40» з набором порожнистих шнеків в процесі влаштування фундаментів. Виготовлення палі відбувалось з спланованої поверхні котловану (абс. відм. 67,25 м) за умови заглиблення низу палі в піски ІГЕ-8 до абсолютної відмітки 53,25 м (рис. 2).

Для формування стовбура палі в межах ростверку, після укладання бетону і опускання каркасу в свердловину було встановлено трубу діаметром 530 мм, довжиною 1,8 м з умови відмітки її верха 68,75 м, що на 0,15 м вище відмітки верха ростверку (68,60). Для забезпечення вільного переміщення палі на ділянці ростверку в процесі проведення статичних випробувань, перед влаштуванням ростверку на палю було опущено обсадну трубу діаметром 730 мм, довжиною 1,5 м з встановленням її верха на відмітці ростверку 68,60 м (рис. 2б, в).

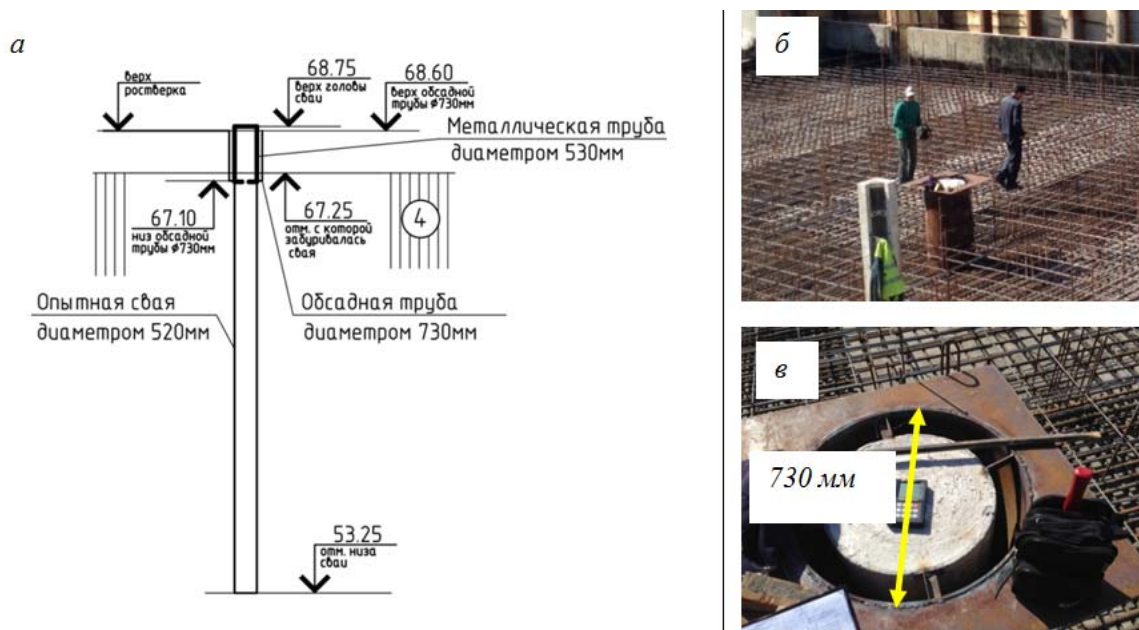


Рис. 2. Конструкція дослідної палі (а): б – обсадна труба Ø 730 мм на етапі армування ростверку; в – вид зверху

Враховуючи наявність під ростверком шару просідаючих суглинків (ІГЕ-4) потужністю 3,4 м, до влаштування ростверку були пробурені навкруги дослідної палі чотири дренажні свердловини діаметром 150 мм, глибиною 3,4 м з подальшим засипанням їх щебенем фракції 25-40 мм.

Подача води відбувалась через дренажні свердловини безпосередньо перед, та під час проведення статичного випробування палі (рис. 3).



Рис. 3. Подача води для замочування просідаючого шару ґрунту (а); передача навантаження на дослідну палю від двох домкратів (б)

Спеціально для проведення комплексу нестандартних статичних випробувань в умовах зростаючої поверховості будівлі, було розраховано, виготовлено і змонтовано конструкцію анкерного стенда (рис. 4).

Навантаження палі здійснювалось статичним осьовим навантаженням ступенями по 100 кН (окрім перших трьох ступенів, по 200 кН) за допомогою двох гідравлічних домкратів, сумарною площею поршнів 1 000 см², які встановлювались на палю і опирались в систему упорних балок анкерного стенду. Навантаження на палю визначалось по манометру. Кожна ступінь навантаження витримувалась до умовної стабілізації осідання палі відповідно ДСТУ Б В.2.1-27:2010.

Осідання палі при випробуванні фіксувались двома прогиномірами, встановленими на реперних пристроях, з точністю 0,01 мм.

За даними журналу статичного випробування дослідної палі були побудовані графік залежності осідання від навантаження $S=f(P)$ і осідання від часу $S=f(t)$, параметри якого приведені на рис. 5.

З аналізу графіку (рис. 5) видно, що осідання голови палі від максимального навантаження $P=3\,200,0$ кН склало 41,55 мм, що показано суцільною лінією на графіку. Після розвантаження палі, яке відбувалось ступенями по 200 кН, відбувся підйом палі 9,15 мм, що показано пунктирною лінією на графіку.

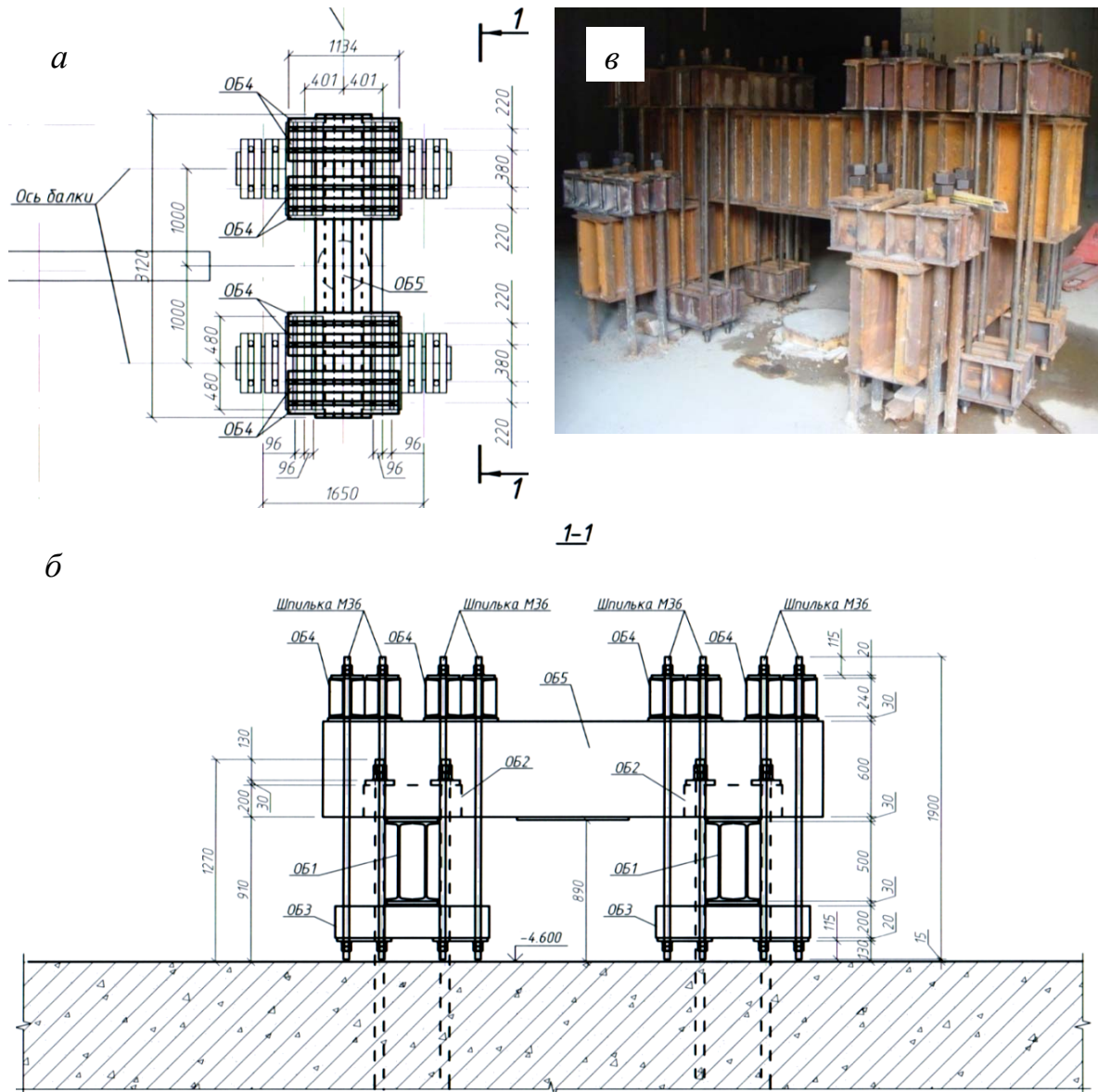


Рис. 4. Конструкція анкерного стенду: а – схема розташування, б – розріз 1-1, в – анкерний стенд в змонтованому вигляді

За результатами випробування дослідної палі, проведеного в попередньо замочених ґрунтах, розрахункове осьове навантаження вдавлювання, яке допускається на буроін'єкційну палю з бетонним заповненням з діаметром стовбура 520 мм, з урахуванням можливого розвитку негативного тертя ґрунту, за умови виготовлення паль з абсолютної відмітки підосви ростверку 67,20 м і заглиблення низу паль в піски ПГЕ-8, до відмітки 53,25 м, складає $P=2\,130,0$ кН.

Зазначене розрахункове навантаження, що допускається на палю, визначено з урахуванням негативного тертя ґрунту з відмітки підосви ростверку 67,20 м до підосви просідаючих ґрунтів ПГЕ-4 на відмітці 63,8 м

($h_{sl}=3,4$ м). Визначення значень негативного тертя ґрунту на розрахункову глибину його урахування проведено з використанням результатів випробувань дослідних паль статичними осьовими висмикувальними навантаженнями на даному майданчику в вересні 2013 р. Нормативний граничний опір палі $F_u=2\,785,0$ кН, несуча здатність $F_d=2\,559,0$ кН.

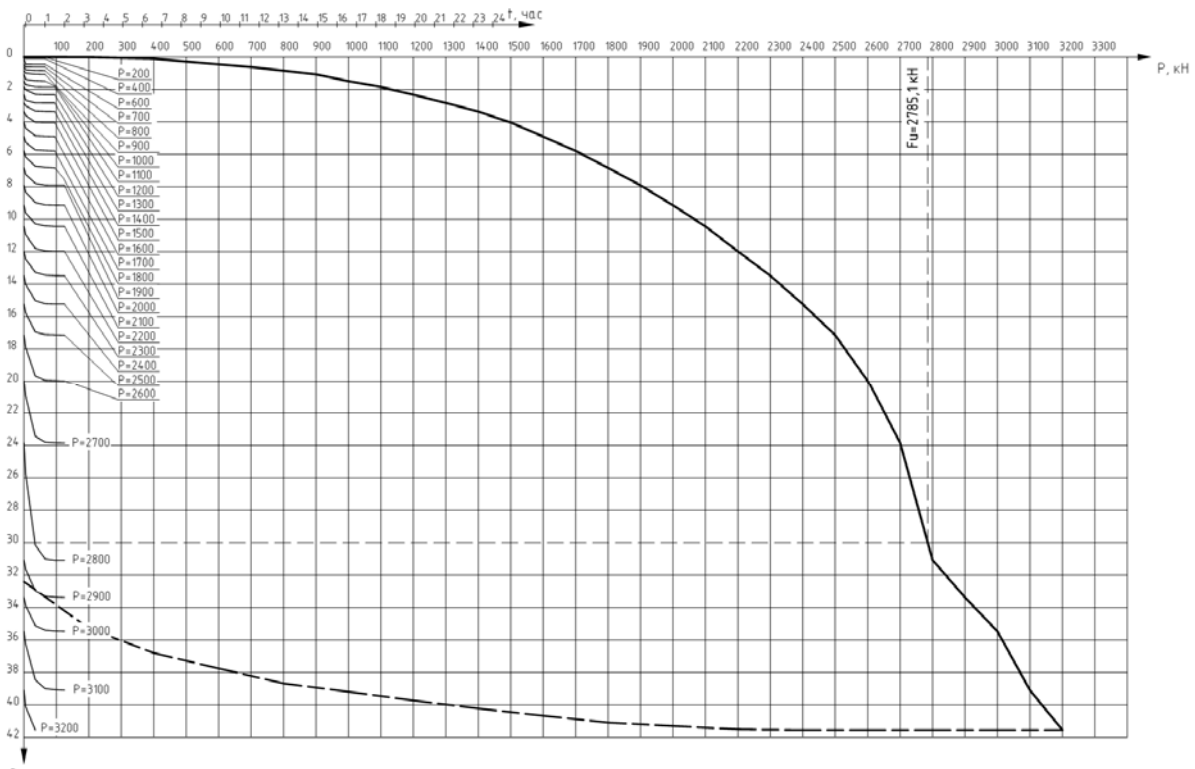


Рис. 5. Графік залежності осідання S від навантаження P і осідання від часу t

При проведенні випробування після навантаження $P=2\,600,0$ кН почався стрімкий ріст осідань (на 12 мм), що вказує на вичерпання несучої здатності ґрунту. Проте, після навантаження $P=2\,800,0$ кН почалося зниження швидкості деформування, що добре помітно на графіку (рис. 6). На нашу думку, це могло відбутися за рахунок доущільнення розпушеної піщаної основи під вістрям палі, що підтверджується дослідженнями [2].

В нашому випадку це викликано безпосередньо технологією виготовлення буроін'єкційних паль, яка здатна створювати умови вакуумування. Тому, потрібно при виготовленні буроін'єкційних паль на це звертати увагу, особливо в піщаних ґрунтах.

Наприклад, в DIN 4014 [10] записано: «для бурових робіт, що проводять нижче рівня ґрунтових вод, а також, де застосовують борові

розчини для підтримки стінок свердловини, неможна знижувати надлишковий тиск розчину і створювати поршневий ефект швидким витягуванням бурового інструменту». Слід зазначити, що [10] вимагає повільно витягати інструмент для виключення створення поршневого ефекту, а в нормативних документах України взагалі не обмежується швидкість підйому бурового інструменту, так ніби поршневого ефекту в свердловинах на будівельних майданчиках нашої країни не може бути.

Розпушення основи також може бути викликано бурінням ґрунтів шнеком нижче рівня підземних вод, яке сприяє руйнуванню ґрунту, створенню депресії на пласт і припливу води до свердловини. Гідравлічний градієнт потоку значно перевищує критичне значення і утворюється процес суфозії. Частинки ґрунту, що виносяться, піднімаються на поверхню разом із виробленим ґрунтом. Знизити ефект розпушення можливо шляхом зменшення швидкості проходження свердловин, яке уповільнить приплив води до свердловини і зменшить суфозію.

Аналіз проведеного випробування палі статичним вдавлювальним навантаженням, яке практично являє собою попереднє навантаження палі, бо відбулось до моменту передачі на палю розрахункового навантаження від будівлі чи споруди, підтверджує ефект доущільнення ґрунту під вістрям палі.

Доведено, що деформативність ґрунтів при повторних навантаженнях паль суттєво знижується за рахунок доущільнення ґрунту пальнової основи, що сприяє зменшенню осідань паль, і як наслідок, підвищенню рівня надійності пальнової основи майбутньої будівлі [6].

Таким чином, попереднє навантаження фундаментів, зокрема паль (за термінологією проф. В.І. Крутова [6] і проф. Н. Brandl [9]), яке представляє собою декілька почергових процесів передачі на занурену палю статичного вертикального навантаження і зняття навантаження; процес «навантаження – розвантаження» відбувається після «відпочинку» паль, до моменту передачі на палю розрахункового навантаження від будівлі, позитивно впливає на зменшення нерівномірності осідань паль в межах будівельного майданчику. Також попереднє навантаження паль за рахунок технології виконання практично є випробуванням паль статичним вдавлювальним навантаженням, що сприяє надійному визначенню і контролю несучої здатності кожної палі.

Основну роль в надійності пальового фундаменту відіграє не несуча здатність, а деформативність ґрунтів його основи. На несучу здатність впливає багато факторів, тому при влаштуванні паль необхідно проводити їх попереднє випробування, яке фактично входить в етапи попереднього навантаження паль. Це в подальшому може, взагалі, усунути потребу у попередніх розрахунках несучої здатності паль, бо врахування результатів дослідів дозволить не лише підвищити рівень надійності, а й приймати більш економні рішення пальових фундаментів, на чому наголошує проф. М.В. Корнієнко [3].

Висновки. Проаналізовано результати випробування статичним вдавлювальним навантаженнями буроін'єкційної палі, виявлено ефект доущільнення розпушеного пилюватого піску. На процес розпушення впливає, по-перше, швидкість проходження свердловин, по-друге, швидкість витягування бурового інструменту, яка сприяє створенню поршневого ефекту, що в нашій країні документально не нормується. Запропоновано попереднім навантаженням паль знижувати деформативність основ таких видів паль. Необхідно проводити подальші дослідження щодо швидкості проходження водонасичених піщаних ґрунтів, з урахуванням їх зернового складу для вдосконалення нормативної бази України.

Список літератури

1. Еремін В.Я. Некоторые проблемы качества буровых свай / В.Я. Еремін, А.В. Еремін [и др.] // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: труды междунар. научн.-техн. конференция. – Уфа: Башниистрой, 2006. – Т.1. – С. 85–96.
2. Зоценко М.Л. Особливості влаштування буроін'єкційних паль у водонасичених піщаних ґрунтах / М.Л. Зоценко, С.В. Біда, В.П. Левченко, М.Ф. Передерій // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Вип. 3(28). – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – С. 82 – 88.
3. Корнієнко М.В. Визначення несучої здатності паль за результатами випробувань статичним навантаженням / М.В. Корнієнко, І.Ю. Заварзіна // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-технічн. зб. наук. праць. – Вип. 75, книга 2. – Київ, ДП НДІБК, 2011. – С. 150 – 158.

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.-технічн. зб. наук. праць. – Вип. 75, книга 2. – Київ: ДП НДІБК, 2011. – С. 164 – 169.
6. Седин В.Л. О влиянии повторных нагружений набивных свай в пробитых скважинах на деформативность их оснований / В.Л. Седин, Ю.Л. Винников, Е.М. Бикус // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического ун-та: стр-во и архитектура. – №3. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. – С. 110 – 118. – ISSN 2224-9826.
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. – ISBN 978-5-93093-952-1.
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 «Геореконструкция», 2012. – 288 с.
9. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings / H. Brandl // Slovak, 2005. – Slovak University of Technology, 2006. – P. 1 – 12.
10. DIN 4014. Bohrpfahle. DIN-Taschenbuch 36. Erd- und Grundbau. (Bauwesen 5). Beuth Verlag GmbH. – Berlin-Köln, 1991. – s. 66 – 87.
11. Fleming K. Piling Engineering / K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph, K. Elson. – London and New York: Taylor and Francis, 2008. – 398 p.

Седин В.Л., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой¹

Бикус Е.М., младший научный сотрудник, аспирант¹

Мельник А.М., главный инженер проектов²

¹ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

²Специализированная строительная организация
ООО «Гидроспецстроймонтаж»

ВЛИЯНИЕ ВДАВЛИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ОСНОВАНИЙ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ

АННОТАЦИЯ: Представлены результаты статических испытаний буроинъекционной сваи при замачивании грунта, выявлен эффект доуплотнения разрыхленного грунта под острием сваи, созданного вследствие поршневого эффекта. Предложено способ снижения деформативности оснований таких видов свай путем применения предварительного нагружения свай.

Ключевые слова: БУРОИНЪЕКЦИОННЫЕ СВАИ, СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ, РАЗРЫХЛЕНИЕ И УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТА.

Siedin V.L., Dr. Sc. (Tech.), Professor, Head of Department¹

Bikus K.M., Junior Researcher, Post-Graduate Student¹

Mel'nyk A.M., Chief Project Engineer²

¹Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture

²GYDROSPECSTROYMONTAZH LTD

INFLUENCE OF PRESSED IN LOAD ON DEFORMABILITY OF CFA-PILES' FOUNDATIONS

ABSTRACT: There are results of the static tests of CFA pile in soaked soil, compaction loosened soil effect was identified under the pile tip where loosened soil was created as a result of the piston effect. Method of reducing the deformability of the grounds of such pile types by applying preloading to them is proposed

Keywords: CFA-PILES, STATIC TESTS, LOOSENING AND SOIL COMPACTION.