



ЗАВАРЗІНА ІРИНА ЮРІЇВНА

Молодший науковий співробітник Державного підприємства “Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій”.

Основні напрямки наукової діяльності: визначення несучої здатності палі великого діаметру та напружено-деформованого стану ґрунтового масиву навколо палі.

Автор 11 наукових робіт.

E-mail: zavarzina-ira@ukr.net

УДК 624.154.5

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПАЛІ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ ЗА МЕТОДОМ ОСТЕРБЕРГА ТА МАСШТАБНИМИ ВИПРОБУВАННЯМИ

Ключові слова: палі великого діаметру, несуча здатність палі, метод Остерберга, палі барета.

Сформульовані проблемні питання визначення величини несучої здатності палі великого діаметру в Україні. Розглянуто випробування таких палі за Остербергом. Визначені переваги та недоліки даної методики.

Сформулированы проблемные вопросы определения величины несущей способности свай большого диаметра в Украине. Рассмотрены испытания таких свай по Остербергу. Определены преимущества и недостатки данной методики.

Identified problematic question of determining the value of the bearing capacity of large diameter piles in Ukraine. Considered testing these piles by Osterberg. Were defined advantages and disadvantages this methods.

1. Актуальність питання визначення несучої здатності палі великого діаметру в Україні.

Будівельна галузь в Україні досить стрімко розвивається і набирає обертів із-за процесу урбанізації в великих містах. В світовій практиці і тепер в Києві почали використовувати барети. Вони досить надійні, мають високу несучу здатність.

Починаючи з 2000 року при зведенні висотних будівель використали різного поперечного перерізу барети, наприклад, торгівельний центр “Парус, бізнес-парк “Соломенка”, багатофункціональний комплекс MIRAX, Sky Tower та інші.

Сьогодні питання визначення несучої здатності палі великого діаметра потребує значних матеріальних затрат. Більшість будівельних фірм не мають спеціального обладнання для проведення таких випробувань.

Крім того сучасні українські нормативні документи не

забезпечують достовірної оцінки правильності визначення величини несучої здатності палі довжиною більше 40 м [1,2,4].

Випробування палі великого діаметру, як правило в звичайних умовах дуже трудомісткі і потребують великої потужності навантажувальної конструкції. Для завантаження використовують 4-6 анкерних палі. Загальне прикладене навантаження домкратів сягає до 58860 кН [5].

Використання гідравлічних домкратів без додаткових анкерних пристроїв є бажаним, воно може бути навіть більш економічним при застосуванні великих навантажень для випробувань палі діаметром більше 1000 мм і фундаментів типу барет [1].

В польових умовах проводяться дослідження деформаційних властивостей ґрунтів за допомогою поетапного навантаження жорстких штампів. Вимірюються величини завантаження кожної ступені. Потім отримують величини питомого опору R , який використовувався в розрахунках несучої здатності палі чи бурової опори або опори-оболонки [13]. При такому підході відкритим залишається питання достовірності відтворення сумісної роботи стовбура і бічної поверхні [7,9].

Звичайно на практиці визначають опір ґрунту для трьох випадків: під нижнім кінцем палі, по бічній поверхні палі, по бічній поверхні і під нижнім кінцем палі.

Зони напружень ґрунтового масиву і навколо таких палі, в цих умовах мають певну різницю. Це може впливати на величину несучої здатності палі, яка визначається як: $F_d = F_{df} + F_{dr}$. Проте ефект взаємодії цих напружених зон може значно корегувати дійсну величину F_d [8].

Можливі випробування палі великого діаметру при наявності масивної анкерної конструкції та використанні

гідралічних домкратів з розподілом цих паль на частини. При цьому є можливість визначення несучої здатності по нижньому кінцю та по бічній поверхні стовбура палі [4].

Має досвід випробуваннями барет великої довжини (до 120 м) французька фірма Soletanche-Bachy також. За технології Остенберга випробовували барети для башти "ОХТА" центру фахівців в Санкт-Петербурзі.

Одна із провідних фірм - LOADTEST визначає несучу здатність паль великого діаметру на майданчиках майже всього світу: Америки, Європи, Австралії та ін. На сьогодні проводяться такі випробування і в Україні.

Вже багато років поспіль в Києві процесом виготовлення паль великого діаметру та глибокого закладання займається фірма "Основа Солсиф". Крім цього досить недавно з'явилась нова фірма "Борен-А" з таким самим потужним арсеналом обладнання для виготовлення паль різної конфігурації в плані.

Досить часто в Україні використовують масштабні випробування. Моделі паль, які використовують в Європі, допускають оцінювання несучої здатності, якщо діаметр натурної палі перевищує діаметр моделі не більше ніж в два рази [3]. Такі обмеження на палі при їх великому діаметрі можуть необґрунтованими, а в Україні така можливість зовсім не розглядаються [1,12].

Дані зондування в світовій практиці також використовують для визначення прогнозованої величини несучої здатності, хоча ці розрахунки базуються на кореляційних залежностях, що встановлені при паралельних випробуваннях паль статичним навантаженням. За нашими даними ці залежності потрібно корегувати як за діаметром паль, так за станом і видом ґрунту. Це робить досить складним вирішення практичних задач по встановленню F_d при зростанні величини діаметру вказаним способом. Тому розглянемо більш точний метод визначення величини несучої здатності паль великого діаметру за методикою Остенберга.

2. Особливості випробування за методикою Остенберга.

Пальові фундаменти можна класифікувати за різними характеристиками: за способом влаштування, за характером навантаження, за матеріалом, способом заглиблення, формою повздовжнього та поперечного перерізу, способом армування. Але на нашу думку їх треба звести до одної класифікації при розрахунку несучої здатності за нормами. За визначеннями в Україні палі великого діаметру – це палі діаметром 600 і більше мм [1,3]. Вони можуть бути виготовлені різними методами: безпосередньо на будівельному майданчику – набивні: буронабивні, буроін'єкційні, бурові опори, віброштамповані; барети, або палі заводські – гвинтові, забивні, буроопускні.

В дослідженнях встановлення реальної картини взаємодії палі з оточуючим ґрунтом формування несучої здатності паль в Україні в минулі роки досить часто використовували тензопалі [13].

У 70-х роках почали використовувати конструкції інвентарної палі. В такій конструкції навантажувальний домкрат був розташований в нижній частині трубчатої палі діаметром 127 мм. Таким чином була змога визначити опір під нижнім кінцем та по бічній поверхні так званої муфти. Проте глибина випробування такої палі була обмежена,

як і можливість прикладання великих навантажень. Хоча надійність таких випробувань була дуже високою (в межах 5-10%) [14]. Це був аналог ячeyки Остенберга.

Існували і інші пропозиції, що передбачали використання верхньої частини палі в якості анкеру. Але найбільш успішною стала пропозиція Остенберга.

Існують складності із випробуваннями паль великого діаметру. Доктор Жорж О. Остенберг першим в світі винайшов гідралічний прилад двонаправлених клітин для визначення повної несучої здатності таких паль. В 1987 році ідея розробки приладу була запатентована.

Остенберг проводив випробування за допомогою о-клітин спочатку на сталевих палях малого діаметру. Це були палі мостів штату Масачусетс, США. Далі почали випробовувати палі діаметром 900-1300 мм, довжиною до 30-ти метрів, з прикладанням навантаження до 3.14 МН.

Нову методику визначення несучої здатності опробовували на буронабивних палях і баретах [6], а також забивних паль суцільних та стикованих довжиною до 90 м і діаметром до 3 м. На сьогодні проведено близько 300 тестів в десяти країнах світу, наприклад, таких як Флорида, Джорджія, Кентуккі, Північна Кароліна, Південна Кароліна, Вірджинія, Мексика, Гонконг [11].

Випробування за методикою Остенберга дозволяють визначити як несучу здатність паль в цілому, так і вплив на несучу здатність окремих шарів ґрунту.

Реалізація тертя ґрунту по бічній поверхні палі спостерігається уже при невеликих значеннях осідання в 5...20 мм і залежить від ґрунту і його стану.

Остаточне значення несучої здатності визначають з врахуванням величини прикладеного навантаження N . Процес випробування припиняють при таких випадках: 1) коли спостерігається безкінечний висхідний рух палі вниз без збільшення навантаження, тобто величина опору характеризує вичерпання несучої здатності ґрунту під нижнім кінцем палі [7, 9]; 2) може бути вичерпання максимальної потужності "о-клітини" (прогноз несучої здатності палі був занижений); 3) досягнуто граничне значення опору по бічній поверхні для верхньої частини стовбура палі. Схема випробувальної установки показана на рис. 1.

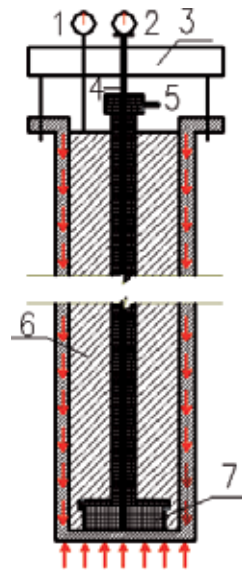


Рис.1. Схема випробувальної установки Остенберга.

Набір датчиків: 1- вимірює переміщення вгору, 2- вимірює переміщення вниз; 3- опорна балка; 4 - контрольна труба; 5 - джерело тиску; 6 - бетон; 7 - комірка з "о-клітинами".

Після завершення випробування палі нижня комірка з "о-клітинами" може бути заповнена бетоном на дрібному заповнювачі або цементним розчином. При цьому використання палі як робочої на будівельному майданчику визначається за оцінкою її стану.

Випробувальні палі на будівельних майданчиках м. Києва різної конфігурації в плані приведені на рис. 2.

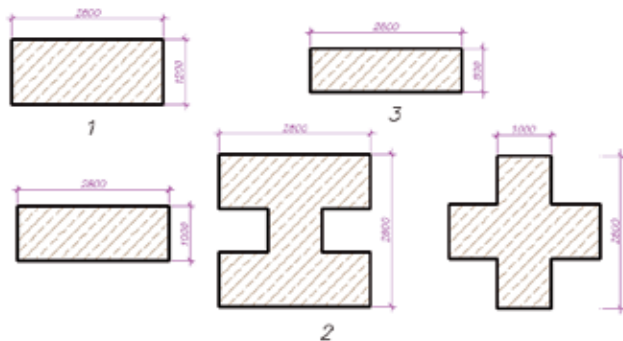


Рис.2. Варіанти перерізів барет на будівельних майданчиках м. Києва: 1. Барети на об'єкті Sky Tower. 2. Барети на об'єкті торговельного центру Парус. 3. Барети на об'єкті Mirax plaza.

Палі спираються на надійну основу в 1 та 3 схемах на пісок дрібний щільний, а в 2 схемі на спондилову глину (київський мергель). При цьому модуль деформації буцацьких пісків досить високий досягає більше 40 МПа.

3. Підходи розташування навантажувальної комірки Остерберга.

Випробування які започаткували на палях малого діаметра з часом почали виконувати на палях великого діаметра. Наприклад, найбільш відомі випробування паль статичним навантаженням, що проводяться за вимогами ASTM D1143 для комірок з "о-клітинами", характеризуються чисельним навантаженням від 670 кН до 27 МН при діаметрі паль від 870 мм. Крім цього для загального аналізу досліджень використовували код ABAQUS [11].

Було проведено багато циклів навантаження паль великого діаметру в Японії. Підтверджено, що якщо при випробуванні потрібні навантаження більші ніж 27 МН, то необхідно використовувати дві або більше "о-клітин" в комірці.

На сьогодні проводяться випробування із навантаженням до 135МН, коли використовують три "о-клітини" в комірці. Існують декілька варіантів розміщення комірок рис. 3.

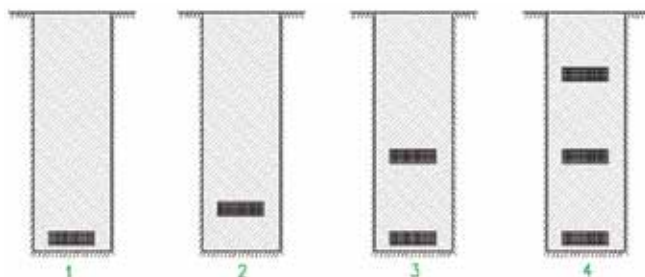


Рис.3. Схеми варіантів розміщення комірок з "о-клітинами" Остерберга в буронабивних палях та палях баретак.

На рис. 3 - 1 комірка з "о-клітинами" розташована в нижній частині палі. Тому можливі два варіанти завершення випробування: а) бічний опір дорівнює опорі під нижнім кінцем палі; б) опір під нижнім кінцем палі більший ніж опір по бічній поверхні.

При необхідності визначення повного навантаження на палю комірку з "о-клітинами" розташовують на певній відстані від дна (рис. 3 – 2). Якщо відстань від дна визначено правильно, то кінцевий "зрив" палі буде досягнуто при гарантованому значенні бічного опорі палі. При цьому навантаження під нижнім кінцем досягне свого найбільшого значення. Хоча за існуючою методикою і не можливо визначити точне місцезнаходження комірки по висоті палі, досвід показує, що в умовах коли навантаження досягне свого критичного значення, тобто вичерпання несучої здатності палі, буде можливість визначення проектного навантаження на палю з певним наближенням.

Схеми на рис. 3 – 3; 4 працюють у випадках, коли треба прикласти навантаження більше 27 МН і визначити несучу здатність верхньої, середньої та нижньої частини палі. Використовують дві або три комірки з "о-клітинами", які розташовані на певній відстані від дна. При цьому спостерігається більше переміщення в верхній комірці.

Верхню комірку навантажують для визначення бічного опорі палі по верхній частині стовбуру. Потім навантажують наступну по глибині комірку для визначення зсувного опорі по поверхні стовбуру між двома комірками з "о-клітинами" і навантажують за прийнятою методикою третю. В умовах коли клапани комірок закривають уся паля працює як анкерний пристрій, і є можливість визначити тиск під нижнім кінцем. Такий випадок справедливий коли тиск під нижнім кінцем буде меншим ніж загальний опір по бічній поверхні палі.

4. Результати випробувань паль барет.

Щоб підтвердити описану методику випробування барет в табл. 1. наведені результати деяких випробувань таких паль за методом Остерберга та масштабні випробування.

Всі об'єкти – висотні офісно-житлові будівлі етажністю до 47 поверхів, розташовані в Україні, м. Київ. Довжина барет в деяких випадках перевищує 40 м, що не враховується діючими в Україні нормами [1,2,4].

З метою виконання прогнозних розрахунків несучої здатності паль підвищеної довжини було розроблено таблиці опорі R - під нижнім кінцем та f - по бічній поверхні [9] для регіональних ґрунтів в межах глибини 40-80 м.

В зв'язку із складністю проведення випробувань за методикою Остерберга за об'єктах Парус та Mirax plaza випробування барет базуються на результатах статичних випробувань масштабних буронабивних паль діаметром 620 мм та буріоекційних паль діаметром 820 мм, що мали довжину 28.6 м. При визначенні величини несучої здатності цих паль важливим є вплив значень масштабних коефіцієнтів [6].

За результатами порівняння визначення несучої здатності барет на майданчику №1 в максимальна різниця сягає 5.57%, а мінімальна 3.07% по відношенню до випробувань за методикою Остерберга. Таке явище може спостерігатися через недостатню підготовку основи під нижнім кінцем або

Таблиця 1. Результати випробування паль статичним вдавлюючим навантаженням на експериментальних майданчиках м. Києва

№ п/п	Назва об'єкту, довжина L_p , м, поперечний переріз барети мм	Несуча здатність за результатами випробувань F_{d1} , МН	Несуча здатність за $EN F_{d2}$, МН	Несуча здатність за ДБН F_{d3} , МН	Різниця %		Різниця %
					3-4	3-5	
	2	3	4	5	6	7	8
1	“Небесні вежі” $l=63.3$; B23-1.2×2.8	84 (за методом Остерберга)	90.83	87.65	5.73	3.07	3.65
2	Парус, $l=28.6$; B1-2.8×1.0*, B2-2.8×2.8*, B3-2.8×2.8*	За результатами випробування буровісційних паль	19.89 31.43 31.43	19.64 30.73 30.73	-	-	1.27 2.27 2.27
3	Mirax plaza, $l=32.73$; E1-2.8×0.8	За результатами випробування буронабивних паль	46.73	44.5	-	-	5.01

Примітка: барета B1 прямокутного перерізу, барета B2 таврового перерізу, барета B3 хрестоподібного перерізу.

дефекти при пробному навантаженні.

Крім цього барети мають досить великий запас несучої здатності, як по матеріалу так і по ґрунту, який дуже часто не реалізується на практиці при натурних випробуваннях. Тому актуальним є питання щодо визначення напружено-деформованого стану для паль барет та паль великого діаметру не залежно від способу їх виготовлення [10].

Несуча здатність за результатами розрахунку паль за європейськими нормами мають вищі показники, ніж за українськими. Це пов'язано із врахуванням коефіцієнтів впливу постійних та тимчасових дій та маси випробувальної палі.

5. Визначення осідання паль за результатами випробувань

При випробуванні барети методом Остерберга на майданчику №1 було застосовано одну випробувальну комірку. Випробувальний пристрій розміщений на відстані 2.16 м над нижнім кінцем палі і складався з трьох о-клітин діаметром 670 мм.

Комірка також включала в себе шість струйних датчиків лінійних переміщень, які знаходилися між верхньою та нижньою пластиною збірки.

Випробування барет проводилося ступенями до досягнення загального навантаження 44.81 МН (див. графік рис.4). До комірки навантаження прикладається в двох протилежних напрямках. Середня величина переміщення нижнього кінця палі при такому навантаженні склала 35.5 мм див. рисунок 4 - крива 2.

Крім цього була розрахована несуча здатність по

бічній поверхні секції барети нижче випробувальної комірки. Величина бічного зсуву склала 5.9 мм див. рис. 4 - крива 1.

Максимальна величина осідання барети при максимальному навантаженні склала 37.8 мм.

Переміщення барети над коміркою та нижнього кінця палі контролюється за допомогою тензорезисторів та системи двох датчиків.

Для розрахунку напружено-деформованого стану і міцносних характеристик фундаменту на об'єкті Mirax plaza змодельована модель пальово-плитного фундаменту з барет в програмних комплексах Liga версії 9.4. Отримали значення осідання 30.9 см і 15.6 см для одно та двукратного значення модуля деформації ґрунтів основи. Несучий шар основи – пісок дрібний, щільний, насичений водою.

Осідання двох випробувальних паль на об'єкті Парус склали 11, 8 мм та 15.1 мм при навантаженні в 4750 кН та 5200 кН відповідно. Осідання барет не було розраховано, але буде отримано в результаті подальших досліджень роботи паль великого діаметру.

6. Переваги та недоліки методики

Остерберга.

Випробування за методикою Остерберга паль великого діаметру є досить складною задачею. Для буріння свердловин використовують установку німецької фірми Bauer, яка здатна пробурювати свердловину до глибини понад 100 м і діаметром 600-3000 мм, розмірами секцій 600-3500 мм.

На практиці несуча здатність таких паль сягає 40-135 МН.

Проаналізувавши літературні джерела за даними випробувань в м. Києві можна виділити наступні переваги при випробування методики Остерберга:

- Економія ресурсів.

Випробування за методикою Остерберга з використанням комірок дешевші, ніж статичні випробування паль

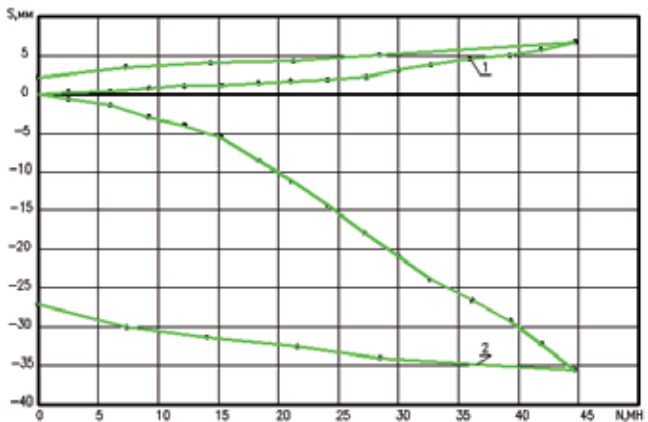


Рис.4. Крива $S = f(N)$ випробувань паль за методом Остерберга:

1 - крива для верхнього анкерного навантаження, 2 - крива для нижнього навантаження.

великих діаметрів. Така різниця складає приблизно 1/3 чи 2/3 вартості. Крім цього виконання робіт випробовування швидші за термінами.

- Прикладання великих навантажень до палі.
- Безпека проведення випробування для виконавців робіт.
- Випробувальний пристрій комірки знаходиться всередині палі і тому немає загрози випадкового обвалу анкерних конструкцій палі.
- Зменшення робочої області виконання випробувань.

Немає габаритних випробувальної техніки, є більше вільного простору на будівельному майданчику.

- Можливість врахування зміни властивостей якості, ґрунту що є важливим на практиці.
- Не виникає труднощів при випробуванні палі при різних рівнях ґрунтових вод.

До недоліків методики випробувань за Остербергом можна віднести:

- Призначення конфігурації перерізів палі на початкових етапах залишає не завжди визначеним.
- Збірка комірки з о-клінами.

Перед влаштуванням палі у свердловині, до арматурного каркасу приєднують попередньо зібрану комірку з о-клітинами.

- Визначення графіку $S = f(N)$ для всієї палі є наближеним.

- Напружено-деформована зона при випробуванні палі великого діаметру за методикою Остерберга із використанням напружених комірок відрізняється за характером від зони напружень, що утворились в результаті статичних випробувань палі.

Для поліпшення якості натурних випробувань, при яких теорія і досвід не забезпечують точності розрахунку, варто застосовувати палі оснащені спеціально рекомендованими для цих цілей вимірювальними приладами [12].

Випробування за методикою Остерберга потребує високого рівня механізації та техніки виконання робіт.

ВИСНОВКИ

За випробуваннями методики Остерберга визначають несучу здатність окремих шарів ґрунту та палі різних перерізів, окрім Н-секцій.

Методика потребує уточнення кількості та положення комірок по довжині палі з тим, щоб можна було отримати максимально наближений до реальних умов графік $S=f(N)$ для випробувальної палі. Однак для надійного отримання значення несучої здатності потрібно сформулювати комплексний підхід, враховуючи диференційовану оцінку опору палі і призначення безпечної величини осідання для заданого типу будівлі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи і фундаменти будівель і споруд: ДБН В.2.02.01-2009.- К.: Мінбуд України, 2009. – 110 с.
2. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-200 . - К.: Мінбуд України, 2011. – 56 с. (Зміна №1 Палі і пальові фундаменти)
3. Eurocode 7: EN 1997-1:2004 /AC /: Geotechnical design – Part 1: General rules — (together with United Kingdom National Application Document), 1997-1. – 88 с.
4. Палі. Визначення несучої здатності за результатами пальових випробувань: ДСТУ Б В.2.1-27:2010 .-К.: Мінбуд України, 2011. – 12 с.
5. Jorj O. Osterberg The Osterberg load test method for load and driven piles the first ten years/ Jorj O. Osterberg // Aurora, Colorado, 1998. – P. 1-17
6. Катценбах Р. Технология и опыт устройства фундаментов высотных зданий типа бареты / Катценбах Р., Дунаевский Р.А., Франивский А.А. // Профессиональная информация. – Киев: Ярос Строй, 2012. – 4с. Режим доступу до статті: <http://www.yaros.by/library/professional-information/tehnologiya-i-opyt-ustroystva-fundamentov-vysotnyh.html>.
7. Педро Секо е Пінто Нові розробки в методах розрахунку пальових фундаментів/ Педро Секо е Пінто –Л.: Міністерство транспорту Португалії, 2009. – 21 с
8. Корнієнко М.В. Про особливості використання методу Остерберга при випробуванні палі великого діаметру/ Корнієнко М.В., Дворнік С.О., Заварзіна І.Ю.- П.: Мінбуд України, Випуск 4, Том 2, 2012.- С .113-120
9. Корнієнко М.В. Про можливість використання табличних значень опору під нижнім кінцем та по бічній поверхні палі підвищеної довжини при попередньому визначенні її несучої здатності / . Корнієнко М.В., Карпенко Д.А., Заварзіна І.Ю.-К.: Мінбуд України, збірник “Основи і фундаменти”, Випуск 44, 2012/2013 - С.138-143.
10. Корнієнко М.В. Оцінка допустимого навантаження на одиночну палу за українськими та європейськими нормами / Корнієнко М.В., Карпенко Д.А., Заварзіна І.Ю. –К.:Мінбуд України, збірник “Будівельні конструкції”, випуск 79, 2013. - С.150-157
11. Dr. Dan A. Brown Load testing of deep foundations using Osterberg Cell (O-cell) test method / Dr. Dan A. Brown, Ms. Lijun Shi . – Alabama: Highway Research Center, Harbert Engineering Center, Auburn University, 2001 – 119p.
12. Грутман М.С. Свайные фундаменты / Грутман М.С. –К.: Издательство “Будівельник”, 1969 – 193с.
13. Лычев П.П. Экспериментальные исследования несущей способности свай в лёссовых грунтах некоторых пунктов лесостепной части приднепровской возвышенности / Лычев П.П. – К.: 1971 – 169 с.
14. Свайные фундаменты: СНиП 2.02.03-85. -М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1986.-48 с.