

М.В. КОРНІЄНКО, к.т.н. професор

Київський національний університет будівництва та архітектури

С.О. ДВОРНІК, директор департаменту спеціальних і гідротехнічних робіт «Основа-Солсиф»

І.Ю. ЗАВАРЗІНА, аспірантка

Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій

УДК 624.154.5

## ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ОСТЕРБЕРГА ПРИ ВИПРОБУВАННІ ПАЛЬ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРА

Ключеві слова: несуча здатність палі, паля великого діаметра, випробування за методом Остерберга, барета.

*Розглянуто методика випробування палі за методом Остерберга. Виявлено основні проблемні питання й особливості її використання для палі великого діаметра в Україні.*

*Рассмотрена методика испытания свай по методу Остерберга. Выявлены главные проблемные вопросы и особенности ее использования для свай большого диаметра в Украине.*

*Considered the method of testing piles Osterberg. Established the major concerns and particular uses of pile large diameter in Ukraine.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** При випробуванні палі великого діаметра статичним навантаженням виникає безліч питань, які часто залишаються без відповіді в діючих нормах [1, 2]. Головною проблемою є установка для випробувань палі. Для завантаження інколи використовують систему із 4 – 6 анкерних палі. При цьому загальне прикладене навантаження домкратів сягає до 58860 кН. Такі випробування потребують великої потужності навантажувальної конструкції для завантаження анкерної системи палі, а тому навіть підготовчі роботи є трудомісткі. Використання гідравлічних домкратів без додаткових анкерних пристроїв є бажаним, воно може бути навіть більш економічним при застосуванні великих навантажень для випробувань палі діаметром більше ніж 1000 мм і фундаментів типу барет [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.** Пошук такої можливості розпочинався зі штампових випробувань у свердловинах по глибині для отримання величини питомого опору  $R$ , який потім використовувався в розрахунках несучої здатності палі чи бурової опори або опори-оболонки [4]. При такому підході відкритим залишається питання достовірності відтворення сумісної роботи стовбура та бічної поверхні [2, 5].

Звичайно на практиці визначають опір ґрунту для трьох випадків: а) під нижнім кінцем палі; б) по бічній поверхні палі; в) за бічною поверхнею й під нижнім кінцем палі. Зони напружень ґрунтового масиву і навколо таких палі в цих умовах мають певну різницю (рис. 1). 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 коригувати дійсну величину  $F_d$ .

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** Принципи розв'язання цієї проблеми формувалися в попередні роки за різними схемами. З них необхідно виділити два напрямки.

1. Оскільки несуча здатність палі по нижньому кінцю бурових опор й оболонок діаметром більше ніж 1,0 м, як правило, є визначальною, а величина опору ґрунту несучого шару  $R$  залежить від низки факторів (таких, як, наприклад, вид і стан ґрунту, його структурна міцність, глибина опирання нижнього кінця палі та його площа тощо), то величину  $R$  стали визначати за допомогою штампів, які моделювали нижній кінець палі (паля-штамп, штампи для оболонок, гвинтові штампи у свердловині).

При цьому сили опору по бічній поверхні є стабільними та їх можна визначати, наприклад, за допомогою випробувань еталонних палі чи палі-зондів і навіть за даними статичного зондування. Отже, цей напрям можна охарактеризувати як такий, що використовує величини  $R$  і  $f$ , які є емпірично наближені до реальних умов майданчика (за ґрунтовою основою й розмірами палі). Проте різні автори по-різному оцінювали достовірність значень  $F_d$ , що отримували за такими розрахунками. Причиною тому була недостатність паралельних випробувань палі великого діаметра шляхом прямого навантаження палі і отриманих за вказаною методикою.

Прикладом обережності в такій оцінці є інструкція з визначення несучої здатності буронабивних палі за даними статичного зондування, що розроблена ЦНДІБ [6]. Як показала практика запропонована розрахункова формула для визначення  $F_d$  дає занижені значення несучої здатності палі.

2. При збільшенні глибини палі відчутною стає проблема передачі навантаження на штамп із поверхні, коли можуть проявитися значні похибки, внесені втратою стійкості пристрою для передачі навантаження (наприклад, труби порівняно невеликого діаметра чи штанги). Тому з'явилася пропозиція щодо перенесення навантажувального пристрою ближче до нижнього кінця палі. Прикладом такого підходу є конструкція ІВП-127 [7], яка дає більш надійні показання визначення  $R$  і  $f$  порівняно з результатами зондування [8]. Незалежне об'єднання цих принципів було виконано для палі великого діаметра дещо пізніше Остербергом [9].

Випробування палі великого діаметра можливі за наявності масивної анкерної конструкції та при використанні гідравлічних домкратів із розподілом барет на частини. При



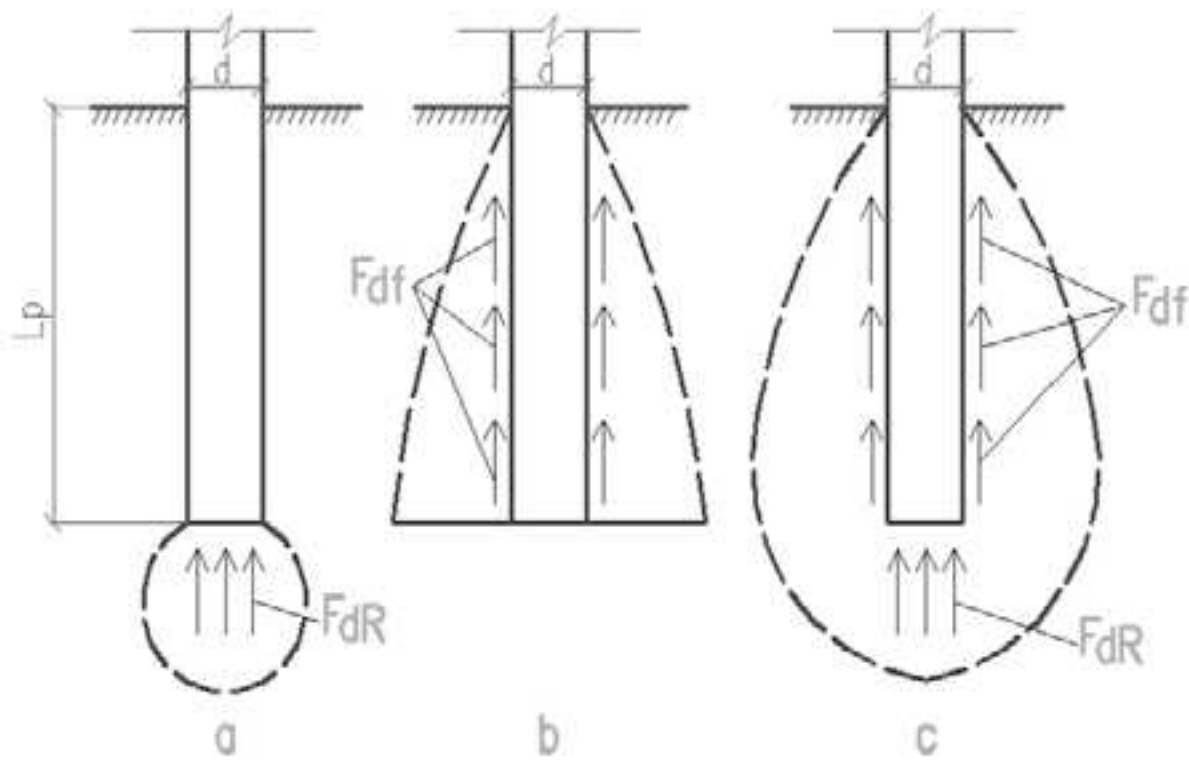


Рис. 1. Схеми розподілу опору під нижнім кінцем  $F_{dR}$  і за бічною поверхнею  $F_{df}$  ( $d$  – діаметр;  $L_p$  – довжина палі)

цьому є можливість визначення несучої здатності по нижньому кінцю та по бічній поверхні стовбура палі [10].

Французька фірма Soletanche-Bachy має досвід випробування барет глибиною до 120 м. За технологією Остерберга випробовували барети для башти «ОХТА»-центру в Санкт-Петербурзі [11].

Одна з провідних фірм – LOADTEST – визначає несучу здатність палей великого діаметра на майданчиках майже всього світу: Америки, Європи, Австралії та ін. На сьогодні проводять такі випробування й в Україні.

Є можливість використання масштабних палей. Моделі палей, які використовують у Європі, допускають оцінювання несучої здатності, якщо діаметр натурної палі перевищує діаметр моделі не більше ніж удвічі [5].

У світовій практиці для визначення прогнозованої величини несучої здатності також використовують дані зондування, хоча ці розрахунки базуються на кореляційних залежностях, що встановлені при паралельних випробуваннях палей статичним навантаженням і зондуванням. За нашими даними ці залежності потрібно корегувати як за діаметром палей, так і за станом і видом ґрунту. Це робить досить складним розв'язання практичних задач щодо встановлення  $F_d$  при зростанні величини діаметра вказаним способом.

**Метою роботи** є вибір методики, що дає можливість із достатньою надійністю визначати несучу здатність глибоких палей різних перерізів та конфігурації в плані, а також несучу здатність окремих шарів ґрунту на значній глибині.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Остерберг запропонував нову методику визначення несучої здатності палей і проводив її опробування при випробуваннях статичним навантаженням буронабивних палей та барет [12], а також забивних палей суцільних та стикованих довжиною до 90 м і діаметром до 3 м. Було проведено близько 300 тестів у десяти країнах світу [9]. Такі випробування дозволяють визначати як несучу здатність палей в цілому, так і вплив на несучу здатність окремих шарів ґрунту.

Навантажувальну комірку Остерберга в стовбурі палі називають також о-клітиною (рис. 2). На його пропозицію процес випробування проходить таким чином.

1. Пробурюють свердловину або влаштовують вертикальну порожнину за допомогою грейфера або гідрофрези з використанням технології «стіна в ґрунті».

2. Проводять зачистку нижнього кінця свердловини.
3. До арматурного каркаса прикріплюють комірку, яка складається з двох металевих пластин та «о-клітин», приварених між ними. За допомогою двох кранів каркас підіймають на всю довжину вгору і опускають у свердловину.
4. Весь отвір свердловини заповнюють бентонітовим розчином.
5. Після перерви в один день виконують процес цементації барети до досягнення максимального тиску цементування в 40 бар. Далі верхня частина свердловини засипається щебенем.
6. Через трубу, з'єднану із гідронасосом, який знаходиться на поверхні землі, подають під тиском рідину до попередньо каліброваної клітини. Використовують як рідину олію або воду. Найчастіше застосовують воду з малими домішками олії (для захисту від корозії обладнання установки).
7. Навантаження прикладають ступенями згідно з прийнятим графіком завантаження і контролюють за тиском в домкраті. Далі йде розвантаження, і випробування завершується.

При збільшенні тиску зростає величина прикладеного навантаження під нижнім кінцем палі. Але при поганому зачищенні нижньої частини палі можуть спостерігатися значні зміщення в нижній комірці, що спричинено недостатнім опором порушеного ґрунту на дні свердловини. Протягом усього часу переміщення палі відповідає опору під вістрям.

Бічне зсування палі спостерігається при невеликих значеннях осідання в 5...10 мм для глини і дещо більших для піску.

Остаточне значення несучої здатності визначають з урахуванням величини прикладеного навантаження  $N$ . Випробування припиняють за таких умов: 1) коли спостерігається безкінечний висхідний рух палі вниз без збільшення навантаження, тобто величина опору характеризує зрив нижньої частини палі [2, 5]; 2) може бути вичерпання максимальної потужності «о-клітини»; 3) досягнуто граничне значення опору по бічній поверхні для верхньої частини стовбура палі. Схему такої установки показано на рис. 2.

Тут же показано набір датчиків: 1 – вимірює рух угору, 2 – вимірює рух униз та наведено додаткові елементи конструкції; 3 – опорна балка; 4 – контрольна труба; 5 – джерело тиску; 6 – бетон; 7 – комірка з «о-клітинами»; 8 – рідина.

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 визначають за оцінкою її стану.

Діаметр палей, що випробували за методом Остерберга, з часом збільшували. Найбільш відомі випробування палей статичним навантаженням, що проводять за вимогами ASTM D1143 для комірок з «о-клітинами», характеризуються чисельним навантаженням від 670 кН до 27 МН при діаметрі палей від 870 мм.

У Японії було проведено багато циклів навантаження палей великого діаметра. Було підтверджено, що якщо при випробуванні потрібні навантаження більші ніж 27 МН, то необхідно використовувати дві або більше «о-клітин» у комірці.

На сьогодні проводять випробування з навантаженням до 135 МН, коли використовують три «о-клітини» в комірці. Існують декілька варіантів розміщення комірок (рис. 3).



На схемі 1 рис. 3 комірку з «о-клітинами» розташовано в нижній частині палі. При цьому можливі два варіанти завершення випробування: а) бічний опір дорівнює опору під нижнім кінцем палі; б) опір під нижнім кінцем палі більший ніж опір по бічній поверхні.

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

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

Верхню комірку навантажують для визначення опору палі над нею. Потім навантажують наступну по глибині комірку для визначення зсувного опору по поверхні стовбуру між двома комірками з «о-клітинами» і навантажують за прийнятою методикою третю. Потім клапани комірок закривають, і тоді працює вся палля на зсування, і є можливість визначити тиск під нижнім кінцем. Такий випадок справедливий, коли тиск під нижнім кінцем буде меншим, ніж загальний опір за бічною поверхнею палі.

Для підтвердження описаної методики випробування в табл. 1. наведено результати деяких випробувань палей за методом Остерберга в табличній формі.

При випробуванні буронабивних палей та барет несуча здатність була вищою за проектне значення в усіх чотирьох випадках.

Для випробування несучої здатності барет на об'єкті «Небесні вежі» довжиною 63,3 м і розмірами поперечного перерізу 1200×2800 мм використали комірку, яка складалась із трьох «о-клітин» діаметром 670 мм, розміщених на відстані 2,16 м над нижнім кінцем палі. Комірка також включала в себе шість струминних датчиків лінійних переміщень, які розташовано між верхньою та нижньою пластиною збірки.

До арматурного каркаса прикріплювали комірку з «о-клітин» та сигнальні стрижні для визначення переміщень.

За допомогою тензорезисторів визначали бічне переміщення барети над коміркою, і за допомогою двох датчиків контролювали переміщення нижнього кінця палі.

Випробування включало 15 ступеней завантаження по 44,81 МН (графік рис. 4). Навантаження від комірки діють у двох протилежних напрямках. При навантаженні 44,81 МН середнє переміщення вниз становило 35,5 мм. Використовуючи екстропольовану величину питомого опору бічного зсування 233 кПа і номінальні розміри барети

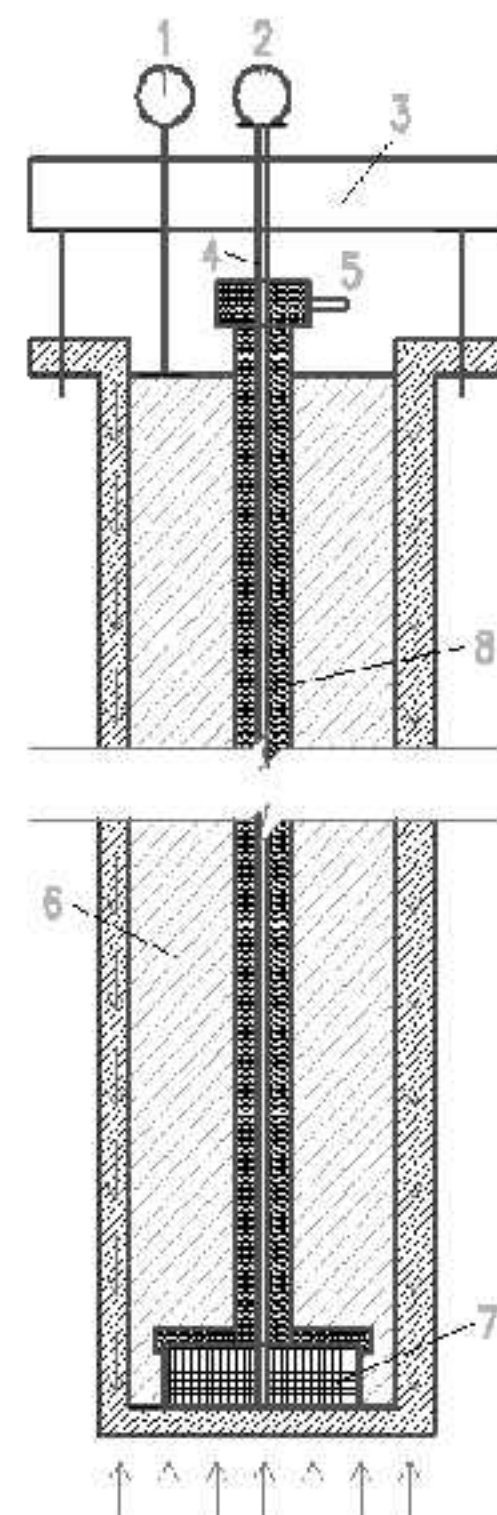


Рис. 2.Схема випробувальної установки Остерберга

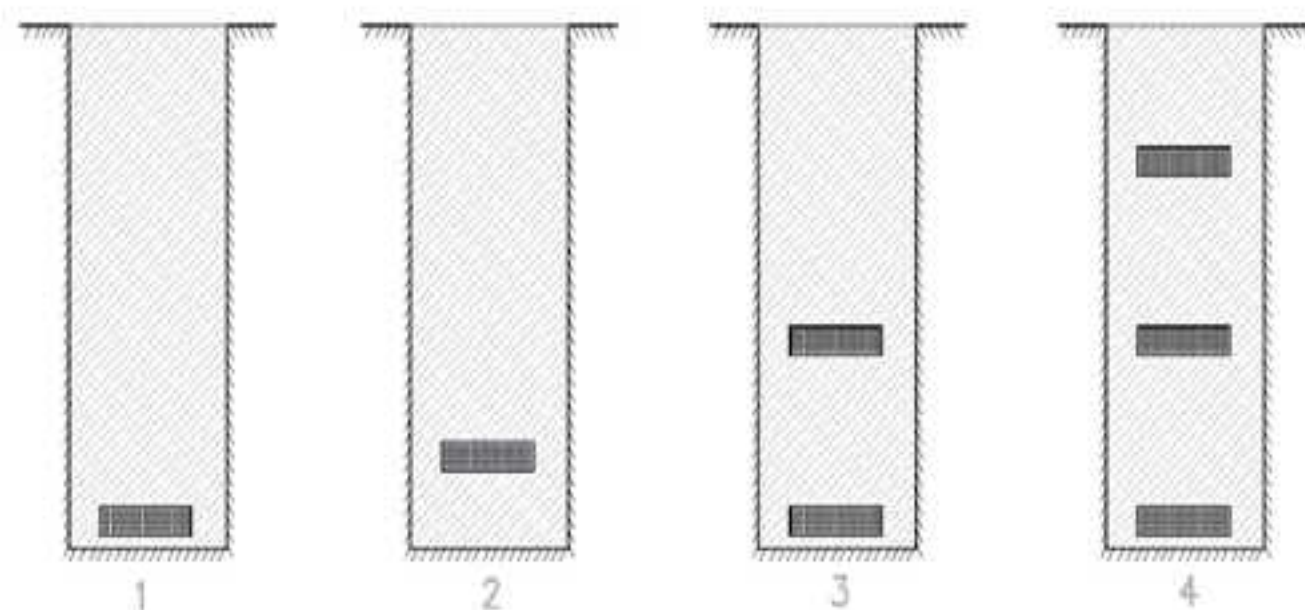


Рис. 3. Схеми варіантів розміщення комірок з «о-клітинами» Остерберга в буронабивних палях

Таблиця 1. Результати деяких випробувань палей за методом Остерберга

№ з/п	Назва об'єкта	Фірма, яка проводила випробування	Довжина та поперечний переріз палі. $L_p$ , м, $\Phi$ , мм, кількість палей	Максимальне навантаження на палю (комірки) $N_{max}$ , МН	Несуча здатність барети в цілому $F_d$ , МН	Максимальне осідання нижнього кінця палі $S_{max}$ , мм
1	«Небесні вежі», м. Київ, Україна	LOADTEST	$L=63,3$ , 1200×2800 1 шт.	40,70 (нижня) 56 (верхня) 85,51 (загальне)	40,78 (загальне)	5,9 (низ) 18,20 (верх) 37,80 (максимальне палі)
2	«ОХТА»-центр, м. Санкт-Петербург, Росія	Soletanche-Bachy	$L=65$ , 1500×3000 5 шт.	54 (загальне)	50 (загальне)	100 (максимальне палі)
3	ТЕС, штат Джорджія, м. Мекон, США	LOADTEST	$L=12$ , $\Phi$ 1829 2 шт.	18 (загальне)	15 (загальне)	38 (максимальне)
4	Опори мосту Брайтон Стрит, штат Массачусетс, США	LOADTEST	$L=49,55$ , $\Phi$ 2438 5 шт.	60 (загальне)	44 (загальне)	110 (максимальне)



1200×2800 мм, було розраховано несучу здатність за бічною поверхнею секції барети нижче комірки. Максимальне несуче навантаження становило 40,78 МН.

Переміщення бічного зсуву при навантаженні 40,70 кН становить 5,9 мм. При верхньому навантаженні 56 кН осідання становило 18,2 мм, 11,4 мм з яких оцінюють як пружний стиск. Максимальна величина осідання барети при максимальному навантаженні становила 37,8 мм.

Мінімальну несучу здатність палі на об'єкті «ОХТА»-центр (табл. 1) при осіданні 40 мм визначають згідно з нормами [13]. Якщо кількість палей менше шести, то величину несучої здатності рекомендують приймати мінімальною, яка вийшла у випробуванні.

Несуча здатність за бічною поверхнею та під нижнім кінцем становить 50 МН при осіданні нижньої частини барети на 100 мм [14].

Методика випробовування палей великого діаметра за методом Остерберга 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.

Несуча здатність таких палей у світовій практиці сягає 40 – 135 МН.

За аналізом літературних джерел та даних випробувань в м. Києві можна виділити такі проблеми, що виникають при випробуванні методики Остерберга:

- призначення перерізів палі;
- оскільки система заглиблена, потрібний високий рівень роботи системної техніки;
- напружено-деформована зона при випробуванні відрізняється за дією від робочої палі;
- визначення графіка  $S = f(N)$  для всієї палі є наближеним;
- також потрібно мати на увазі, де і скільки домкратів потрібно розмістити;
- можливість урахування зміни властивостей ґрунту, що є важливим на практиці.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.2.1-27:2010 Палі. Визначення несучої здатності за результатами палевих випробувань. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 12 с.
2. ДБН В.2.1-10-2009 Зміна №1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
3. Катценбах, Р. Методика испытаний буронабивных свай повышенной несущей способности по системе Остенберга / Р. Катценбах, Р.А. Дунаевский, А.А. Франивский // Профессиональная информация. – К.: Ярослав Строй, 2011. – 4 с. – Режим доступа: <http://www.yaros.by/library/professional-information/metodika-ispytaniy-buronabivnykh-svai-povyshennoy-n.html>.
4. Силин, К.С. Проектирование фундаментов глубокого заложения / К.С. Силин, Н.М. Глозов, К.С. Завриев. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.
5. Eurocode 7:EN 1997-1:2004 / AC / : Geotechnical design – Part 1: General rules – (together with United Kingdom National Application Document), 1997. – 88 с.
6. Мухин, А.А. Рекомендации по определению несущей способности свай-оболочек и буровых свай по результатам статического зондирования грунтов / А.А. Мухин, Н.М. Глозова, Е.А. Теленева, А.П. Рыженко. – М.: Транспорт, 1990. – 19 с.
7. Грутман, М.С. Свайные фундаменты / М.С. Грутман. – К.: «Будівельник», 1969. – 193 с.
8. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
9. 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.
10. Катценбах, Р. Технология и опыт устройства фундаментов высотных зданий типа бареты / Р. Катценбах, Р.А. Дунаевский, А.А. Франивский // Профессиональная информация. – К.: Ярослав Строй, 2012. – 4 с. Режим доступа: <http://www.yaros.by/library/professional-information/tehnologiya-i-opyt-ustroystva-fundamentov-vysotnykh.html>.
11. Петрухин, В. Особенности испытания свай для высотных зданий на примере башни ОДХ «ОХТА» / В. Петрухин, О. Шулятьев, И. Боков, С.О. Шулятьев // Высотные здания. – 2012. – №6. – 107 с.
12. ДБН В.2.02.01-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
13. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011. – 83 с.
14. Пегьюс, Дж. С. Применение пробных нагрузок для оптимизации проектирования фундаментов глубокого заложения / Дж. С. Пегьюс, В. Анандсон, А. Адейефа // Международный журнал «Геотехника» – 2009. – №1. – С. 66 – 71.

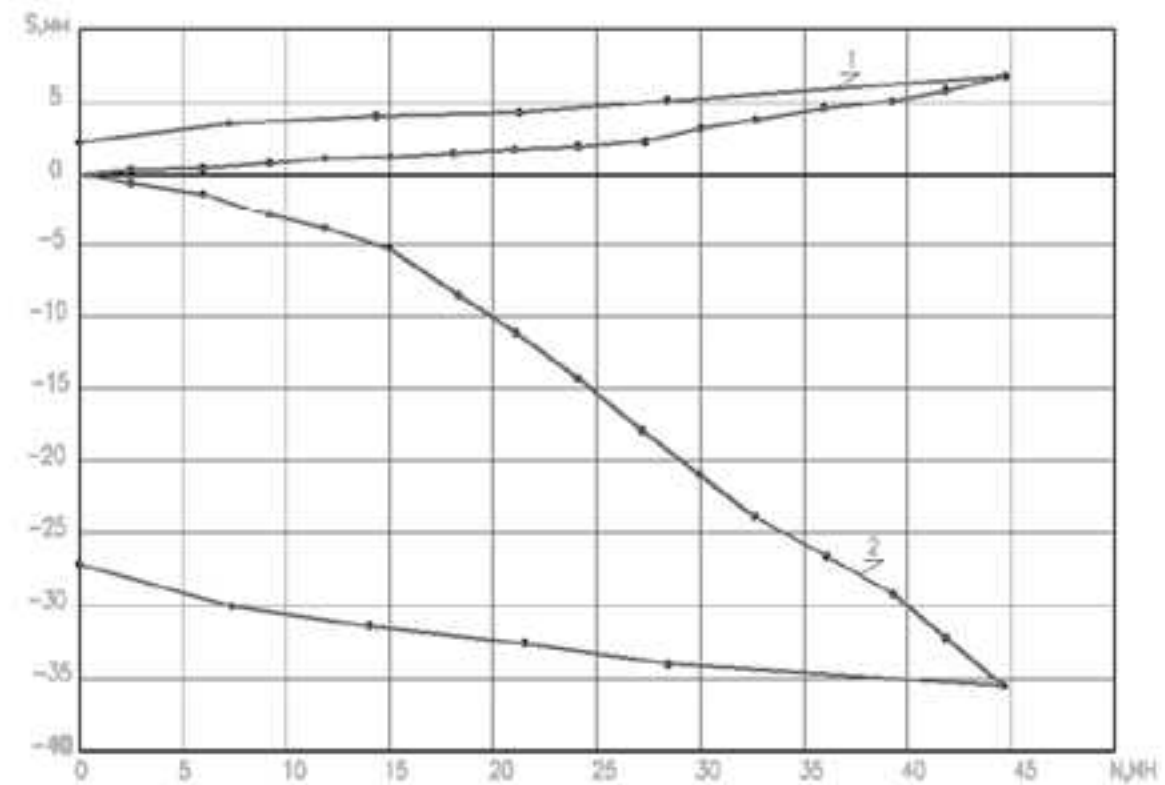


Рис. 4. Крива  $S = f(N)$  випробувань палей за допомогою комірки з «о-клітинами» Остерберга: 1 – крива для верхнього анкерного навантаження, 2 – крива для нижнього навантаження

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. Отже, випробування потребують використання високої механізації для техніки виконання робіт.

#### ВИСНОВОК:

За методом Остерберга можна визначити несучу здатність палей різних перерізів та конфігурації в плані і несучу здатність окремих шарів ґрунту. У подальшому цей метод 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. З іншого боку, шлях до надійного отримання максимального значення несучої здатності палі пролягає через створення комплексного підходу, за яким враховують і контролюють диференційовану оцінку опору палі й призначають безпечну величину осідання палі при врахуванні  $F_d$  для заданого типу будівлі.