

УДК: 624.154

## **МЕТОДЫ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ**

**Сабырбаева Мадина Ерлановна**

[madeka-96@mail.ru](mailto:madeka-96@mail.ru)

Магистрант ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, Астана, Қазақстан

Научный руководитель - Омаров А.Р.

В данной статье представлены нагрузочные испытания свай большого диаметра и глубокого бурения на строительной площадке города Астана. Испытание на статическую нагрузку свай является наиболее надежным методом получения соотношения между нагрузками и расчетами свай.

Результаты статических испытаний свай с использованием теста на статическую нагрузку на сжатие (по ASTM), теста на статическую нагрузку (по ГОСТ) и теста на статическую нагрузку в двух направлениях (по ASTM) представлены в этой статье. Опытные буронабивные сваи длиной 31,5 м, диаметром 1000 мм. Далее представлены результаты испытаний свай с использованием методов вертикальных статических испытаний SLT, BDSLT и SCLT, выполненных на проектах Expo 2017, в зданиях Павильона в Астане, Казахстан.



Рисунок 1. Проект EXPO-2017 в г.Астана, Казахстан

Статические испытания методом Остерберга (O-Cell – тест) проводились для испытания глубоких фундаментов на месте строительства этого объекта. Четыре

буронабивных сваи были подвергнуты статическим испытаниям (O-Cellтест – 2 сваи, SCLT (ASTM) – 1 свая и SLT- 1 свая (ГОСТ) (см. Рисунок 2).

Полевые испытания грунтов статическим зондированием были проведены для более детального расчленения грунтов, а также для определения несущей способности свай по грунту. Слева от таблицы 1 показано инженерно-геологический разрез и справа характеристика грунта. Статическое зондирование выполнялось аппаратурой ТЕСТ–2КМ-250 по ГОСТ 20069-81 и ГОСТ 19912-2001 для оценки несущей способности свай по СНиП РК 5.01-03-2002.

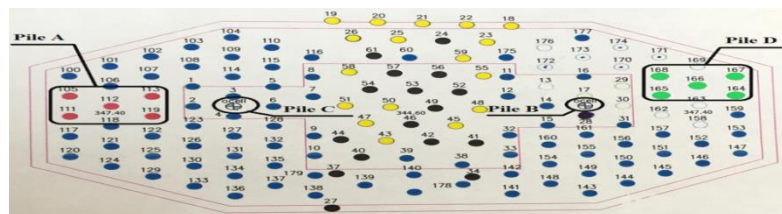


Рисунок 2. План свайных фундаментов на строительной площадке ЭКСПО-2017: **Pile A** (SCLT по ASTM); **Pile B** (O-Cell-1); **Pile C** (O-Cell -2); **Pile D** (SLT по ГОСТу)

По результатам статического зондирования грунтов частные значения удельного сопротивления грунтов конусу зонда составили:

- для суглинков аQII-IV - 2,9 – 8,6 МПа, в среднем - 5,5 МПа;
- для песков средней крупности аQII-IV - 3,1 – 10,4 МПа, в среднем - 6,8 МПа;
- для песков крупных аQII-IV - 14,2 – 23,6 МПа, в среднем - 19,9 МПа.

Частные значения удельного сопротивления грунта на боковой поверхности зонда составили:

- для суглинков аQII-IV- 39 – 146 кПа, в среднем - 82 кПа;
- для песков средней крупности аQII-IV- 41 – 45 кПа, в среднем - 43 кПа;
- для песков крупных аQII-IV- 119 – 140 кПа, в среднем - 132 кПа.

Таблица 1 - Разрез ИГЭ и таблица характеристика грунтов

ИГЭ	Номенклатура грунтов	Характеристика грунтов				
		E, МПа	P g/cm <sup>3</sup>	C, kPa	φ, degree	R <sub>0</sub> kPa
ИГЭ - 2	Суглинки	12.5	1.91	38	19	-
ИГЭ - 3	Пески	17.0	1.92	2.0	35	-
ИГЭ - 5	Пески средней крупности	21.0	1.92	1.0	38	-
ИГЭ - 6	Гравийные грунты	23.0	-	-	-	300
ИГЭ - 7	Суглинки	14.0	2.04	27	27	-
ИГЭ - 8	Дресвяные грунты	36.4	-	-	-	400
ИГЭ - 9	Щебенистые грунты	-	-	-	-	450

Метод испытания на статическую сжимающую нагрузку по ASTM (SCLT).

Испытания статической нагрузкой (циклические) проводились в соответствии с ASTM D 1143-07. При испытаниях методом SLT тестовая нагрузка на сваю составила 6000 кН и 12000 кН (первый и второй цикл соответственно). Испытания были проведены после достижения прочности бетона сваи более 80% от проектной.

Вертикальные статические испытания сваи методом SCLT – это один из наиболее распространенных натуральных методов испытания грунтов для анализа несущей способности сваи. Приращение нагрузки составляло 25%. Последовательность приложения нагрузки следующая: 25, 50, 75, 100, 50, 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 150, 100, 50, 0% от проектной (6000 кН) (рис. 10).

В первом цикле опытная свая нагружалась до 100% от проектной нагрузки, во втором цикле до 200% (12000 кН). Время выдержки промежуточных ступеней нагружения составило 30 минут, разгрузки – 20 минут. Время выдержки пиковых нагрузок составило 120 и 240 минут соответственно. Второй цикл – до нагрузки 12000 кН, полная осадка при этом

составила 10,51 мм. Нужно отметить, что даже при максимальной тестовой нагрузке 12000 кН проявляется только упругая работа сваи в грунте, о чем свидетельствует незначительная остаточная осадка грунта после разгрузки, составляющая 1,4 мм.

Испытания буронабивных свай методом Остерберга (BDSLТ) на площадке Ехро-2017.

Испытание грунтов сваями (рисунок 3) методом Остерберга позволяет проводить испытания для определения несущей способности, как отдельных инженерно-геологических элементов, так и в целом всей боковой поверхности сваи и пяты. Особенность метода O-cell теста заключается в том, что нагрузка прикладывается не на оголовок сваи, а в тело сваи, куда установлен домкрат (силовая ячейка), работающий в двух направлениях. Силовая ячейка (O-cell домкрат) разделяет испытываемую сваю на две части: верхнюю (верхний испытываемый элемент – ВИЭ) и нижнюю (нижний испытываемый элемент-НИЭ). Силовая ячейка (O-cell домкрат) представляет собой систему калиброванных гидравлических домкратов, объединенных в один модуль. Гидравлический домкрат установлен на глубине  $\frac{1}{2}$  длины сваи – 16,8 м. Силовая ячейка соединена гидравлическими шлангами с гидронасосом, расположенными на поверхности грунта.

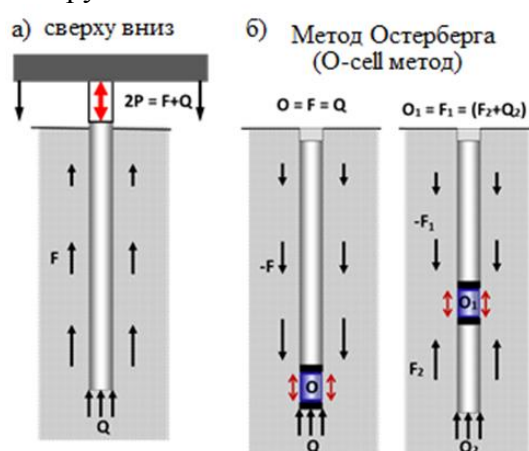


Рисунок 3. Схема испытаний нагрузка сверху вниз и двунаправленной нагрузкой

При проектировании испытания методом O-Cell особое внимание должно уделяться изучению инженерно-геологического строения грунтового массива объекта строительства, поскольку расположение домкрата в теле сваи зависит от точности данных изысканий, в частности результатов оценки сопротивления грунтов. Правильное решение по размещению домкрата влияет на качество проводимых испытаний, поскольку дифференцированное определение составляющих величин несущей способности (по боковой поверхности и под нижним концом) сводятся к правильному подбору равного соотношения бокового сопротивления грунта по верхнему элементу к сопротивлению под нижним концом нижнего элемента опытной сваи.

При проектировании испытания также необходимо учитывать, что прочность материала сваи должна быть больше максимальной предполагаемой несущей способности элемента сваи по грунту. Перед тестами в тело опытной сваи были установлены 10 тензометрических датчиков, подключенных к регистратору данных. На рисунке 4 отражены результаты, полученные от тензометрических датчиков, установленных в элементах свай.

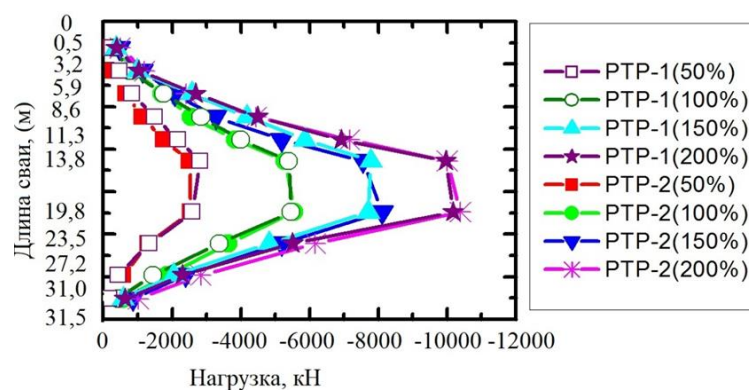


Рисунок 4. Распределение нагрузки по боковой поверхности РТР-1 и РТР-2 (метод О-cell)

При испытании свай с использованием метода О-Cell максимальная испытательная нагрузка в 29000 кН соответствует осадке 18,35 мм (для О-Cell-1, свая С) и - 14,40 мм (для О-Cell-2, свая D) (рисунок 5).

Статические испытания в соответствии с требованиями ГОСТ.

Статические испытания грунтов на буронабивных сваях проводятся по ГОСТ 5686.

Несущая способность испытанных свай со статическим вертикальным прижимным усилием на вышеуказанной строительной площадке составила 12000 кН (рисунок 5). Испытуемые свайные фундаменты опираются на щебенистые грунты, а по боковому обжатию грунта большую часть нагрузки несут суглинки, характеристики и мощности которых можно увидеть в таблице 1.

На рисунке 5 показано сравнение результатов испытаний: кривая «нагрузка-осадка», полученная методом SCLT (ASTM), SLT (SLT) и эквивалентная кривая «нагрузка-осадка», определенная методом О-cell.

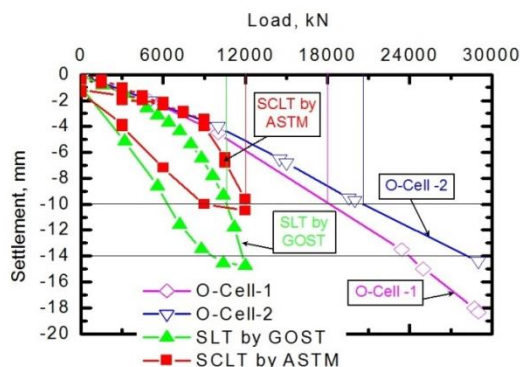


Рисунок 5. Сравнение результатов испытаний, выполненных методами SCLT, SLT и О-Cell

Наложение кривых показало, что сходимость графиков наблюдается только на начальной стадии нагружения, далее наблюдается изменение траектории кривой SLT, характерное ползучей стадии сопротивления грунта, тогда как кривой О-cell (на данной стадии нагружения) более характерно упругое сопротивление грунта. Для сравнительных критериев сваи А (SCLT по ASTM), сваи В (О-Cell-1), сваи С (О-Cell-2) и к сваи D (SLT по ГОСТу) фиксированные осадки 10 и 14 мм.

В таблице 2 представлен сравнительный анализ несущей способности свай, полученных различными методами в данном исследовании.

Таблица 2. Результаты различных тестов

ID	Свая А	Свая В	Свая С	Свая D
Значение несущей способности свай, Qd	12000 кН	29000 кН	29000 кН	12000 кН
При осадке – 10 мм	11788 кН	18220 кН	20535 кН	10630 кН
При осадке – 14 мм	-	23985 кН	28385 кН	11814 кН

Проведенные испытания методом O-cell дают новый инструмент для оценки работы сваи в грунте. В отличие от метода SCLT методика испытания O-Cell позволяет получить более обширную информацию о несущей способности сваи, сопротивлениях грунта под нижним концом и ее боковой поверхности.

Проведение испытаний свай методом O-cell целесообразно при больших значениях несущей способности свай и больших тестовых нагрузках. Этот метод испытаний свай не требует устройства дополнительных анкерных свай или наличия пригрузочного стенда. Анкерной системой является сама свая, точнее ее верхний испытуемый элемент, следовательно, данный метод целесообразно использовать также в стесненных условиях. При проектировании испытаний методом O-cell важно правильно оценить соотношение сопротивления по боковой поверхности и под пятой сваи и в соответствии с этим выбрать правильную длину элементов (НИЭ и ВИЭ) сваи и максимальную мощность домкрата. При испытаниях свай методом O-cell, максимальной тестовой нагрузке 29000 кН соответствует осадка 18,35 мм (для сваи РТР-1) и – 14,40 мм (для сваи РТР-2).

При испытаниях свай методом SCLT «сверху вниз», проектной нагрузке 6000 кН соответствует осадка 2,09 мм, максимальной тестовой нагрузке 12000 кН - осадка 10,51 мм. Нужно отметить, что даже при максимальной тестовой нагрузке проявляется только упругая работа сваи в грунте, о чем свидетельствует незначительная остаточная осадка грунта после разгрузки, составляющая 1,4 мм.

#### **Список использованных источников**

1. ASTM D1143 / D1143M-07 (2013), Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
2. Zhussupbekov A.Zh., Lukpanov R.E., Omarov A.R. The application of the static load methods of pile foundations in construction of site Expo-2017. // Scientific journal Soil Mechanics and Foundation Engineering (Impact Factor-2015= 0.221). Vol.: Issue 4: ISSN 0038-0741. New-York, USA, 2016. P.p 251–256.
3. Жусупбеков А.Ж., Лукпанов Р.Е., Омаров А.Р. Опыт применения методов статических испытаний свай на площадке строительства EXPO – 2017. // Научно-технический журнал Основания, фундаменты и механика грунтов: выпуск №4: ISSN 0030-6223, импакт-фактор 0.221. – Москва, Россия, 2016. С 22-25.
4. ГОСТ 5686-94 – Грунты. Методы полевых испытаний сваями.
5. СНиП РК 5.01.03-2002 – Свайные фундаменты
6. Askar Zhussupbekov, Abdulla Omarov, Ivan Morev, Ashkey Yergen, Karlygash Borgekova. Analysis results of static and dynamic loads tests of pile foundations in constructions site EXPO-2017, Astana, Kazakhstan. Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sep. 17 – 22, Seoul, Korea, 2017. P. 3079 – 3082.
7. ASTM D8169 / D8169M-18, Standard Test Methods for Deep Foundations Under Bi-Directional Static Axial Compressive Load, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.