

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ SCQLT И O-CELL ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СВАЙ В ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ Г. АСТАНЫ

### EXPERIENCE OF SCQLT AND O-CELL METHODS FOR TESTING OF PILES SOIL CONDITIONS IN ASTANA

Макалада топуракты свайлар менен сыноонун натыйжалары жана салыштыруулар берилди, алар төмөнкү усулдар менен сыналган: *Static Cycling Quick Load Test* (мынданары *SCQLT*) тик туруучу статикалык сыноолор жана *O-селл* (*Остерберг* усулу) ыкмасы менен сыноо.

**Ачкыч сөздөр:** ургулап бургулоочу свайлар, тик турган статикалык салмак менен тестирлөө, басырылган салмак, *Остерберг* же *O-селл* тестирлөөсү.

Приведены результаты и сравнение испытаний грунтов сваями следующими методами: вертикальные статические испытания *Static Cycling Quick Load Test* (далее *SCQLT*) и *O-селл* (метод *Остерберга*).

**Ключевые слова:** буронабивные сваи, тестирование статической вертикальной нагрузкой, нагрузка-осадка, *Остерберг* или *O-селл* тестирование.

The results and comparing of soil tests of the piles for following methods: Vertical static test *Static Cycling Quick Load Test* (hereinafter *SCQLT*) and the *O-Cell* (*Osterberg* method).

**Keywords:** piles, testing by a static vertical load, loading-sinking, *Osterberg* or *O-cell* testing.

#### Введение

Для тестирования фундаментов глубокого заложения на площадке строительства EXPO-2017 (Рис.1.) в г. Астана (Казахстан) были проведены статические испытания вертикальной вдавливающей нагрузкой «сверху вниз», а так же статические испытания методом *Остерберга* (*O-cell* тест). Статическим испытаниям были подвергнуты три буронабивные сваи, одна из которых была протестирована методом *SCQLT* (номер сваи 166), а две – методом *O-cell* (*PTP-1* и *PTP-2*). Местоположение опытных свай приведено на рисунке 1.



Рис. 1. Экспериментальная площадка на EXPO-2017 для проведения испытаний

**Результаты инженерно-геологических изысканий площадки.** На площадке строительства проведен комплекс лабораторных и полевых исследований грунтового основания. На основании описания грунтов, подтвержденного результатами статического зондирования и лабораторными испытаниями, проведено разделение грунтов, слагающих участок изысканий на инженерно-геологические элементы в стратиграфической последовательности их залегания (Табл. 1).

Таблица 1 – Разделение грунтов на инженерно-геологические элементы в стратиграфической последовательности их залегания

Инженерно-геологический элемент	Номенклатура грунтов	Характеристика грунтов						
		$\rho$ г/см <sup>3</sup>	C кПа	$\phi$ гр	E МПа	e	I <sub>L</sub> max	S <sub>r</sub>
ИГЭ– 2.	Суглинки аQ II-IV;	1,97	21	31	13,0	0,60	0,71	0,60
ИГЭ– 3.	Пески средней крупности аQII-IV;	1,62	2	35	17,0	-	-	-
ИГЭ– 4.	Пески гравелистые аQII-IV;	1,76	1	38	21,0	-	-	-
ИГЭ– 5.	Пески крупные аQII-IV;	1,82	1	38	21,0	-	-	-
ИГЭ– 6.	Гравийные грунты аQII-IV;	2,00	-	-	23,0	-	-	-
ИГЭ– 7.	Суглинки е(C1);	2,00	35	33	16,0	0,66	0,04	0,83
ИГЭ– 8.	Дресвяные грунты е(C1).	2,20	-	-	29	-	-	-
ИГЭ– 9.	Щебенистые грунты е(C1).	2,40	-	-	32,0	-	-	-

Согласно результатам инженерно-геологических изысканий в качестве фундаментов было принято решение использовать буронабивные сваи. С целью контроля и оценки соответствия несущей способности свай по грунту проектным нагрузкам были проведены полевые статические испытания.

#### Статические испытания свай методом SCQLT

Вертикальные статические испытания свай SCQLT – это один из наиболее надежных натуральных методов испытания грунтов для анализа несущей способности свай (Рис.2.).

Испытания SCQLT - циклические. 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 (6000кН). В первом цикле опытная свая нагружалась до 100% от проектной нагрузки, во втором цикле до 200%. Время выдержки промежуточных ступеней нагружения составило 30 мин, разгрузки – 20 мин. Время выдержки пиковых нагрузок составило 120 и 240 мин. соответственно.

Опытные буронабивные сваи длиной 31,5м, диаметром 1000мм. Испытания статической нагрузкой проводились в соответствии с ASTM D1143 [1]. Тестовая нагрузка на сваю составила 600 т и 1200 т. Испытания проведены после достижения прочности бетона свай более 80%.

а)

б)

в)



Рис. 2. Вертикальные статические испытания свай методом SCQLT  
 а) опытная свая и реперная система; б) датчики перемещения и домкраты;  
 в) гидравлическая система.

На рисунке 3 представлены результаты методом SCQLT. Первый цикл испытаний до нагрузки 6000 кН представлен красной линией, при этом полная осадка составила 2,09 мм. Второй цикл до нагрузки 1200 кН – синей линией, полная осадка составила 10,51 мм.

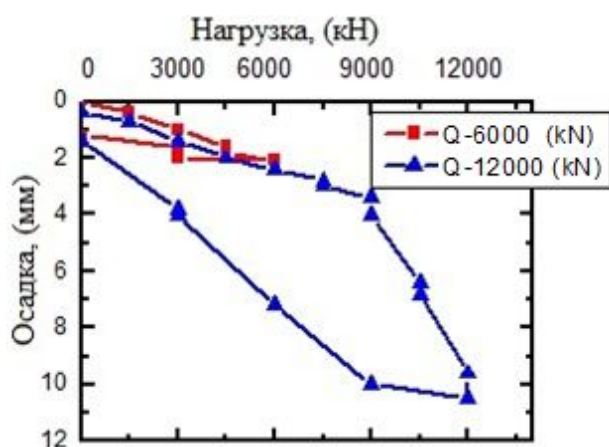


Рис. 3. График нагрузка– осадка методом SCQLT сваи № 166 (нагрузка 6000 кН и 12000 кН)

### **О-Селл тест или статические испытания грунтов сваями двухнаправленной нагрузкой**

Метод, предложенный Джорджем Остербергом [2], позволяет одновременно определить расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи и по ее боковой поверхности.

Особенность О-селл теста заключается в том, что нагрузка прикладывается не на оголовки сваи, а на тело сваи, куда установлен домкрат (силовая ячейка), работающий в двух направлениях [3]. Силовая ячейка (О-селл) разделяет испытываемую сваю на две части: верхнюю (верхний испытываемый элемент) и нижнюю (нижний испытываемый элемент). Силовая ячейка (О-селл) представляет собой систему калиброванных гидравлических домкратов, объединенных в один модуль. Гидравлический домкрат установлен на глубине 2/3 длины сваи - 16,8 м (Рис.4.). Силовая ячейка соединена гидравлическими шлангами с гидронасосом, расположенным на поверхности грунта.

Испытание грунтов сваями методом Остенберга (методом погруженного домкрата) позволяет проводить испытания для определения несущей способности, как отдельных инженерно-геологических элементов, так и в целом всей боковой поверхности сваи и/или пяты.

Перед испытаниями в тело опытной сваи были установлены 10 тензометрических датчиков, схема расположения которых представлена на рисунке 4, подключенных к

регистратору данных (даталогеру) представлены на рисунке 4 тензометрически датчики от SG1 до SG10.

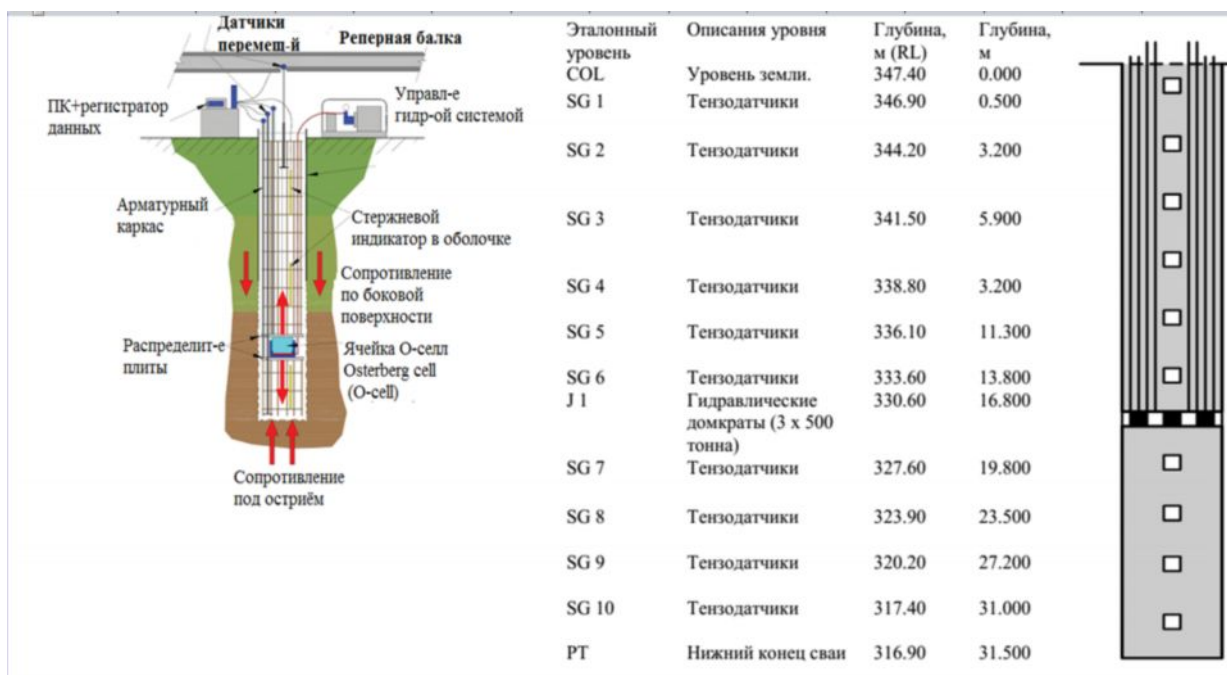


Рис. 4. Схема O-cell теста

Испытания методом O-cell представлены на рисунке 5.

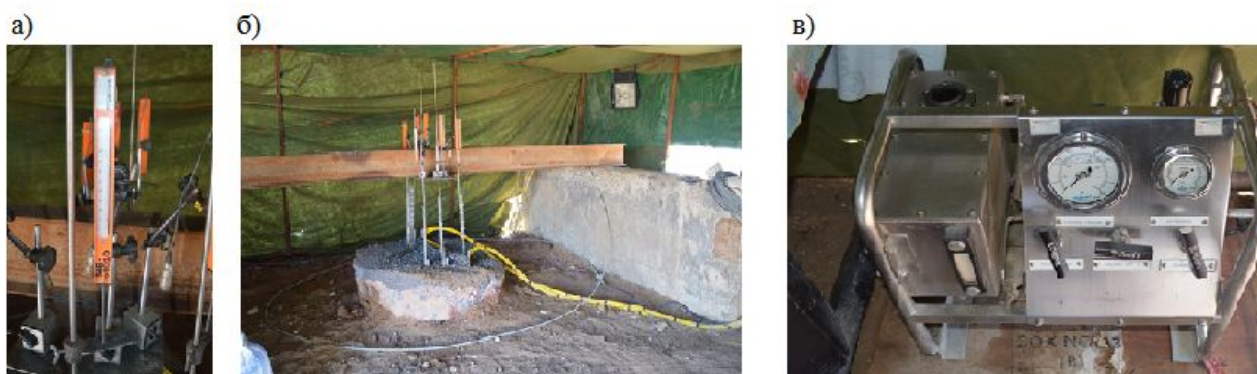


Рис. 5. Испытания свай статической нагрузкой методом O-cell:

а) датчики перемещения; б) опытная свая и реперная система; в) гидравлическая система.

В отличие от SCQLT, O-cell испытания позволяют получить две зависимости «нагрузка-осадка»: одна кривая характеризует сопротивление сваи под нижним концом, вторая – по ее боковой поверхности [4]. Далее, используя данные двух кривых можно получить эквивалентную кривую «нагрузка-осадка», являющуюся аналогом кривой SCQLT [5].

Результаты испытаний O-cell представлены на рисунке 6.



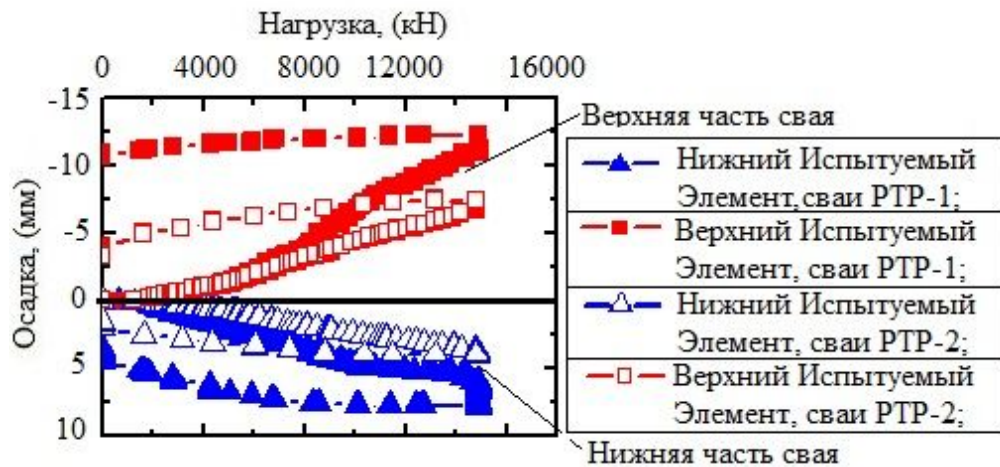


Рис. 6. Результаты перемещение свай РТР-1 и РТР - 2 методом О-cell

На рисунке 7 представлены результаты тензометрических датчиков [5]. На рисунке 7 представлено распределение нагрузки по длине свай. Из графика видно, что даже при максимальной нагрузке свая удерживается боковым сопротивлением грунта. Лишь незначительная часть нагрузки приходится на острие свай.

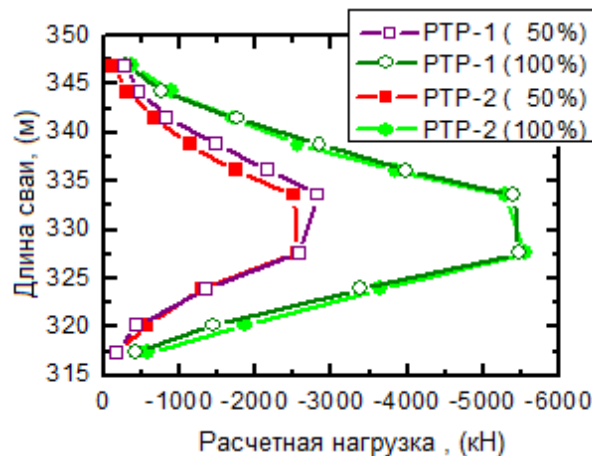


Рис. 7. Общее расчетное распределение нагрузки свай РТР-1 и РТР-2 методом О-селл

Эквивалентная кривая «нагрузка-осадка» определяется следующей зависимостью (2) [6]:

$$Q = \frac{Q_{up} - G_p}{\lambda} + Q_{down}, \quad 2$$

где,  $Q_{up}$  и  $Q_{down}$  – нагрузка, приходящаяся на каждый сегмент свай при фиксированном перемещении;  $G_p$  – собственный вес верхнего сегмента свай;  $\lambda$  – коэффициент преобразования верхнего сегмента свай, характеризующий зависимость трения свай при испытании О-cell (при котором верхний сегмент свай, характеризующий боковое трение, перемещается вверх) к трению свай при SCQLT (при котором боковое трение активизируется при перемещении свай вниз). Коэффициент  $\lambda$  в большей степени зависит от типа грунта.

На рисунке 8 представлено сравнение результатов испытаний свай методом О-селл (эквивалентная кривая) с результатами SCQLT.

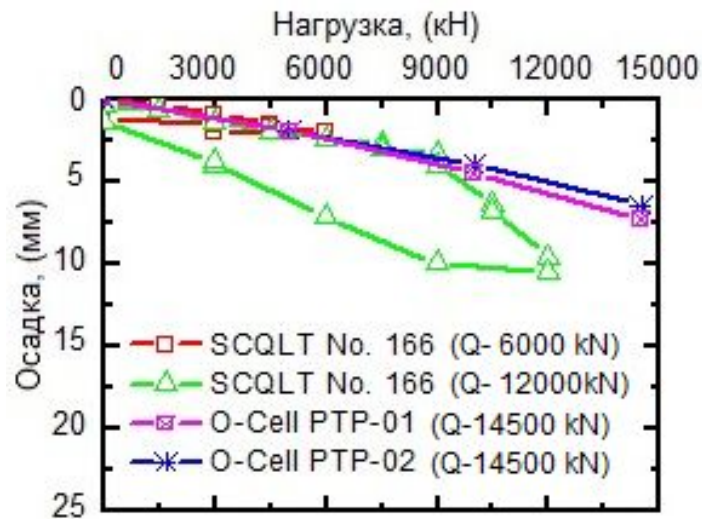


Рис. 8. Сравнение результатов испытаний

### Сравнительный анализ результатов

Основными преимуществами O-cell метода являются: хорошая применимость для свай большой длины и диаметра, особенно в стесненных условиях; возможность нагружения сваи большими нагрузками посредством увеличения количества домкратов; повышение точности результатов из-за отсутствия выпора грунта, так как анкерная система не применяется; повышение уровня безопасности из-за отсутствия реакционной системы на уровне земли, а вся энергия испытательной нагрузки развивается на достаточно большой глубине.

При этом больше не нужно полагаться на уменьшенные в масштабе испытательные сваи из-за огромной стоимости испытания свай большого диаметра традиционными методами.

Вместе с преимуществами, испытания имеют некоторые ограничения. Применяемый метод используется в основном для буронабивных свай, домкрат и датчики для измерения перемещений устанавливаются до начала испытания и остаются в свае после их окончания.

Наряду с имеющимся недостатками, важнейшее преимущество O-селл состоит в том, что с его помощью определяется расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи и по ее боковой поверхности, что имеет особенную ценность для анализа и оценки несущей способности свай большого диаметра.

### Выводы

При применении метода SCQLT «сверху - вниз» при проектной нагрузке 6000 кН максимальная осадка составила 2,09 мм и при тестовой нагрузке 12000 кН максимальная осадка составила 10,51 мм.

При максимальной тестовой нагрузке O-cell метод показал, что при 100% рабочей нагрузке (14500 кН) наблюдается общая осадка свай РТР-1- 7,30 мм и РТР-2- 6,50 мм.

Проведенные испытания SCQLT и O-Cell на площадке строительства объекта «Павильон Казахстан» к ЕХРО -2017 дают новый инструмент для оценки работы сваи в грунте. Вместе с этим, использование данного метода для анализа несущей способности свай дает более точный результат, а также экономию финансовых средств и времени из-за отсутствия необходимости в использовании анкерных свай.

Такие виды испытания свай можно также применять и для транспортных сооружений (под опоры мостовых конструкций, путепроводов и развязок).

### Список литературы

1. ASTM D1143, « Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load».
2. Engineering News Record, 1993, "Load Cell Measures 6000 Tons Under Shaft", FOUNDATIONS Section, ENR Publication, May 10, 1993, Vol. 230, No. 19, p.24.
3. Osterberg, J.O., 1989, "Breakthrough in Load Testing Methodology", Foundation Drilling Vol. XXVIII, No. 8 (November, 1989), ADSC, p.13.
4. Osterberg, J.O. (1998). "The Osterberg load test method for bored and driven piles: the first ten years." Proceedings, 7th International Conference on Piling and Deep Foundations. (DFI'98), Vienna, Austria, 1.28.1 – 1.28.11.
5. Osterberg, J.O.,1989, "New Load Cell Testing Device", Proceedings, 14th Annual Conference. Deep Foundations Institute, pp. 17 - 28.
6. Guoliang Dai, Weiming Gong, «Application of bi-directional staticloading test to deep foundations». Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2012, 4 (3): 269–275