

УДК 624.154

### ФУНДАМЕНТЫ ИЗ КОРОТКИХ СВАЙ В ГРУНТАХ ГОРОДА ОДЕССЫ

**Барчукова Т.Н.**, к.т.н., доцент,

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
tatiana.n-tatyanan@yandex.ru

**Аннотация.** Дано краткое описание местонахождения города Одессы, обзор ее грунтовых условий, применение в этих условиях свайных фундаментов из коротких свай, конструкция которых позволила использовать в качестве несущего слоя верхние прочные слои грунта с модулем деформации  $E = 11$  МПа и выше. Применение фундаментов из коротких свай, взамен запроектированных столбчатых фундаментов, обосновано проведенными на опытной площадке испытаниями. Выполненные исследования позволили экспериментально обосновать надежность разработанных конструкций. Изменение конструкции фундаментов сократило сроки строительства, уменьшило стоимость нулевого цикла, объем бетона и трудозатраты.

**Ключевые слова:** геологическое строение площадок, фундамент из коротких свай, экспериментальные исследования.

### ФУНДАМЕНТИ З КОРОТКИХ ПАЛЬ В ГРУНТАХ МІСТА ОДЕСИ

**Барчукова Т.М.**, к.т.н., доцент,

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
tatiana.n-tatyanan@yandex.ru

**Анотація.** Наведено короткий опис місцезнаходження м. Одеси, її ґрунтові умови, а також застосування в цих умовах пальових фундаментів з коротких паль. Конструкція цих паль дозволяє використовувати в якості несучого шару верхні міцні шари ґрунту з модулем деформації  $E = 11$  МПа і вище. Застосування фундаментів з коротких паль замість запроектованих стовпчастих фундаментів обґрунтовано проведеними випробуваннями на дослідному майданчику. Виконані дослідження дозволили експериментально обґрунтувати надійність розроблених конструкцій. Зміна конструкції фундаментів скоротила терміни будівництва, зменшила вартість нульового циклу, обсяг бетону й працевитрати.

**Ключові слова:** геологічна будова майданчиків, фундамент з коротких паль, експериментальні дослідження.

### FOUNDATIONS OF SHORT PILES IN SOILS OF THE CITY OF ODESSA

**Barchukova T.N.**, Ph.D., Associate Professor,

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
tatiana.n-tatyanan@yandex.ru

**Abstract.** The article represents a brief description of the location of the city of Odessa, a review of the soil conditions, use of pile foundations of short piles in these conditions, which construction allowed the use of upper solid layers of soil with a deformation module  $E = 11$  МПа and above. The use of foundations of short piles instead of the designed columnar foundations is confirmed by tests carried out on the experimental site. The purpose of the research is the

introduction of the tested foundation of short piles into the construction practice. The objectives are to carry out a full-scale experimental investigation of the interaction of a short pile with the foundation soil under the joint application of vertical and horizontal loads. The analysis of the conducted researches found that vertical efforts, which transmit the piles to the soil foundation, compact it. Settlement of column piles is a consequence of overcoming the amount of forces – resistance to compacting along the base of the piles, slab broadening and shear resistance on the lateral surface of the underground part of the pile and plate. The moment and horizontal forces turn the underground part of the column pile around a certain rotation center, points of zero displacement, causing the soil compacting in front of the loaded parts of the side faces. The result of compacting is the moving of the piles at the surface in the direction of force action, and at the foot in the back direction. The studies allowed to prove experimentally the reliability of the designed constructions. The change of foundations construction reduced the terms of building, the cost of a zero cycle, the volume of concrete and labor costs.

**Keywords:** geological structure of the site, foundation of short piles, experimental studies.

**Вступлення.** Одесса расположена в краевой части Причерноморского плато. Этот участок плато характеризуется общим уклоном на юго-запад в сторону Черного моря. Геологическое строение плато – последовательное залегание отложений, среди которых: лессы, лессовидные суглинки, глины и известняки. В известняках встречаются катакомбы. Катакомбы – сеть подземных ходов и лабиринтов под Одессой. Большой частью (95%) Одесские катакомбы представляют собой подземные каменоломни, в которых добывался строительный камень, используемый для постройки города. Также в систему катакомб входят полости естественного происхождения – карстовые пещеры, геологоразведочные и строительные шурфы, подвалы, бункеры, дренажные тоннели, ливневые коллекторы и прочие подземные полости. В настоящее время длина Одесских катакомб оценивается приблизительно в 2,5 тыс. км. В районе Одессы встречаются крупные овраги (Аркадиевский, Среднефонтанский, Большефонтанский и др.). Между обрывами коренного плато и пляжем находится оползневая терраса, которая представляет собой оползневые ступени, запрокинутые в сторону плато. Одесса, также находится в зоне сейсмоактивности (7 баллов).

Геолого-литологическое строение строительных площадок города Одессы представлено двумя типами:

Первый тип – площадка в геоморфологическом отношении приурочена к району Пересыпи. В геологическом строении площадки принимают участие водонасыщенные морские и лиманные песчано-глинистые отложения, залегающие непосредственно на меотических глинах. Геолого-литологическое строение представлено следующими напластованиями: слой 1 – насыпной слой (суглинок, супесь с бытовым и строительным мусором), мощность слоя колеблется от 0,7 до 2,1 м; слой 2 – песок мелкий, иногда серый глинистый с включением битой ракушки (6,0 м); слой 3 – супесь легкая серая с прослойками песка пылеватого и включениями ракушки (4,0 м); слой 4 – глина серо-зеленая, плотная, твердая (мощность бурением не пройдена).

Подземные воды при изысканиях встречены на глубине – 0,8...2,0 м.

Гранулометрический состав песков приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав песков

№ слоя	Наименование грунта	Размер частиц, мм				
		2 ... 1	1 ... 0,6	0,5 ... 0,25	0,25 ... 0,1	0,1 ... 0,05
2а	Песок серый	4,7	3,8	12,1	64,2	2,2
2б	Песок средний, серый	25,6	24,9	22,1	10,9	2,3

Второй тип – в геологическом строении принимают участие техногенные, делювиальные, эоловые и аллювиальные отложения. Строение участка характеризуется следующими инженерно-геологическими элементами: слой 1 – насыпные грунты (суглинки бурые и темно-

бурые со щебнем, строительным и бытовым мусором) 0,5 м; слой 2 – суглинок лессовидный, средний, желтовато-бурый (3,8 м); слой 3 – лесс палевый (4,3 м); слой 4 – суглинок лессовидный, средний, буровато-коричневый (3,8 м); слой 5 – лесс палевый (4,3 м).

Подземные воды при изысканиях встречены на глубине – 4,3 м.

Физико-механические показатели свойств грунта приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические показатели свойств грунта

Наименование показателей	Размерность	Номер слоя площадки 1			Номер слоя площадки 2		
		2	3	4	2	3	4
Плотность частиц грунта	г/см <sup>3</sup>	2,98	2,7	2,84	2,66	2,68	2,69
Плотность грунта	г/см <sup>3</sup>	1,97	1,92	2,19	1,68	1,78	1,95
Плотность грунта в сухом состоянии	г/см <sup>3</sup>	1,55	1,5	1,78	1,52	1,52	1,67
Природная влажность		0,27	0,27	0,23	0,16	0,26	0,28
Влажность на границе раскатывания		–	0,26	0,27	0,18	0,2	0,20
Влажность на границе текучести		–	0,28	0,61	0,29	0,26	0,34
Угол внутреннего трения	град	28	28	18	22	20	20
Удельное сцепление	кПа	1	1	0,03	20	14	18
Модуль деформации	МПа	20	11	30	11/6	2,0	4,0
Относительная просадочность при: $\sigma_1 = 100$ кПа; $\sigma_2 = 200$ кПа		–	–	–	0,01; 0,04	–	–

**Цель и задачи исследований.** Цель исследований – внедрение испытанного фундамента из коротких свай в практику строительства. Задачи – провести натурные, экспериментальные исследования взаимодействия коротких свай с грунтом основания при совместном приложении вертикальной и горизонтальной нагрузок.

Существуют различные конструкции фундаментов, обеспечивающие несущую способность грунтов. При выборе конструкции фундамента производится проверка соответствия несущей способности грунта конструкции фундамента, т.е. передача и распределение давления от веса конструкции на грунт должны быть выполнены так, чтобы нагрузка на грунт не превышала допустимую для грунта величину. Площадь опирания фундамента на грунт должна определенным образом соответствовать несущей способности грунта.

**Объекты и методы исследований.** На площадке с грунтовыми условиями первого типа проведены испытания свайных фундаментов из коротких свай, конструкция которых позволяет использовать верхние прочные слои грунта с модулем деформации  $E = 11$  МПа и выше. Испытанные конструкции фундаментов были предложены взамен проектного решения. Проектное решение – фундаменты под колонны монолитные, столбчатые с глубиной заложения подошвы – 3 м.

Конструкция испытанного свайного фундамента С-1 – в скважину диаметром 0,8 м, глубиной 1,7 м монтируется железобетонная колонна сечением 400×400, и зачеканивается бетоном. Вокруг, таким образом, образовавшейся сваи на глубину 0,5 м устраивается железобетонная плита с размерами в плане 1,4×1,4 м. Фундамент С-2 – сваю-колонну С-1 с глубиной заложения подошвы – 2,1 м усиливают, установив с каждой стороны в плоскости действия моментов на расстоянии 0,85 м две буронабивные сваи сечением 0,5 м, с глубиной заложения подошвы – 2,1 м. Сваи соединены между собой железобетонной плитой, толщиной 0,5 м, с размерами 1,4×2,4 м.

Испытания выполнены на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок. Схема приложения нагрузок приведена на рисунке 1. Вертикальная нагрузка

создавалась путем укладки тарированного груза на специальные платформы, смонтированные на стволах свай-колонн. Грузовая платформа состояла из четырех швеллеров № 16, сваренных между собой и закрепленных болтами. На грузовую платформу укладывались металлические гири весом до 20 кН. Загрузка проводилась равномерно, одной ступенью на полную величину, которая достигала 120 кН.

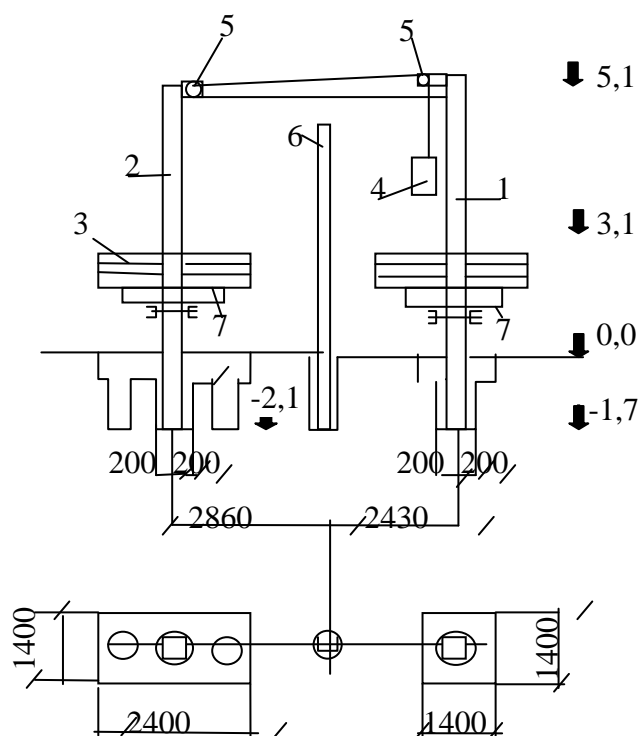


Рис.1. Конструкция свай-колонн и схема приложения нагрузок:

1 – свая-колонна С-1; 2 – свая-колонна С-2; 3 – вертикальная нагрузка; 4 – нагрузка, создающая горизонтальные усилия; 5 – система блоков; 6 – реперная стойка; 7 – грузовая платформа

После стабилизации осадки от вертикальных усилий прикладывалась горизонтальная нагрузка. Горизонтальные усилия создавались с помощью груза, укладываемого на грузовую платформу и системы блоков, смонтированных в верхней части колонны. Горизонтальные усилия прикладывались ступенями. Каждая ступень, приложенной нагрузки принималась равной 4 кН и выдерживалась до стабилизации горизонтальных перемещений.

За условную величину стабилизации в проведенных исследованиях принято: скорость приращения осадки от вертикальной нагрузки не более 0,1 мм в сутки, горизонтальных перемещений 0,1 мм за последние 2 часа. Горизонтальные усилия измерялись динамометром с ценой деления 7,5 кг.

Замеры осадок от вертикальных нагрузок производились при помощи штангенглубиномера с точностью отсчета 0,1 мм. Осадку свай-колонны определяли, измеряя расстояние от краев двухконсольной реперной балки, жестко связанной с колонной и опорными стержнями. Реперная балка состояла из равновеликой, угловой, прокатной стали сечением 75×6 мм. Опорные стержни диаметром 20 мм, класса А 300 С, были зачеканены бетоном в скважине 0,2 м на глубину 1,0 м за пределами зоны влияния нагрузки на грунт основания. Осадка свай-колонн определялась как среднее значение двух измерений.

Горизонтальные перемещения колонн на отметке дневной поверхности и по высоте надфундаментной части фиксировались при помощи системы ползунковых прогибомеров, смонтированных на реперной стойке. Перемещения к прогибомерам передавались струной, диаметром 0,3 мм. Реперная стойка – швеллер № 20, забетонирована в скважине диаметром 0,35 м, на глубину 1,5 м, на расстоянии 2,86; 2,43 м от испытываемой сваи.

Измерение перемещений колонн в уровне дневной поверхности дублировались помимо струнных приборов, штангенглубиномерами от реперной системы отстоящей от испытываемой сваи на расстоянии 10...12 см и приваренной к реперной стойке.

**Результаты исследований.** В результате анализа проведенных исследований установлено, что вертикальные усилия, которые передает свая на грунт основания, уплотняют его. Осадка сваи-колонны (рис. 2) является следствием преодоления суммы сил – сопротивления уплотнению по подошве сваи, плиты и сопротивления сдвигу по боковой поверхности сваи и плиты [1].

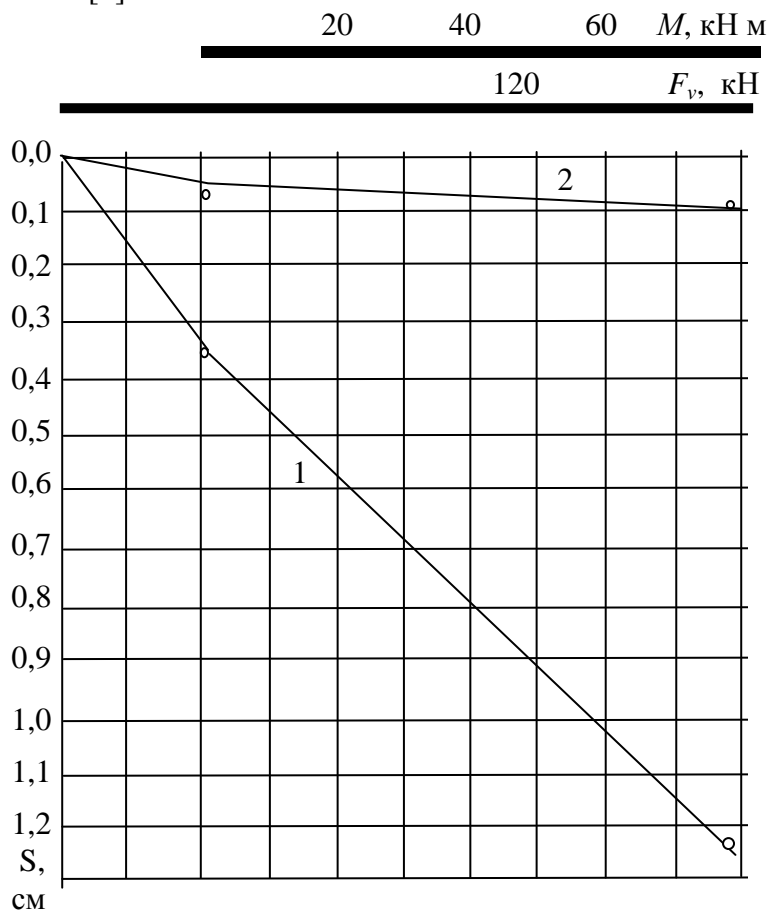


Рис. 2. График зависимости осадки сваи-колонн от нагрузок на отметки 0,0:  
1 – свая-колонна С-1; 2 – свая-колонна С-2

Момент и горизонтальные силы поворачивают подземную часть сваи-колонны вокруг некоторого центра вращения, точки нулевых перемещений, в результате чего грунт перед нагруженными частями боковых граней уплотняется. Следствием уплотнения является перемещение сваи у поверхности в сторону действия сил (рис. 3), а у подошвы в обратном направлении [2, 3]. При повороте свайного фундамента нагрузка передается на грунт только частью подошвы плиты, которая сопряжена с нагруженными боковыми гранями плиты, в остальной части подошвы плиты контакт с грунтом основания отсутствует. Максимальные горизонтальные перемещения свай в уровне отметки дневной поверхности С-1 – 3,1 мм; С - 2 – 0,9 мм, что меньше предельного значения для таких конструкций (1 см). С увеличением моментных нагрузок осадка свай увеличивается при постоянных вертикальных усилиях. После снятия горизонтальной (моментной) нагрузки происходит перераспределение вертикальных усилий, грунт под подошвой плиты и сваи доуплотняется, что приводит к увеличению осадки. После снятия горизонтальных нагрузок измерена остаточная составляющая полной деформации. Из разности полной ( $u$ ) и остаточной ( $u_0$ ) деформации определяется упругая ( $u_p$ ) составляющая полной деформации. Результаты измерений деформаций в грунте, которые возникают перед нагруженными частями боковых граней для свай С-1 и С-2 приведены в табл. 3.

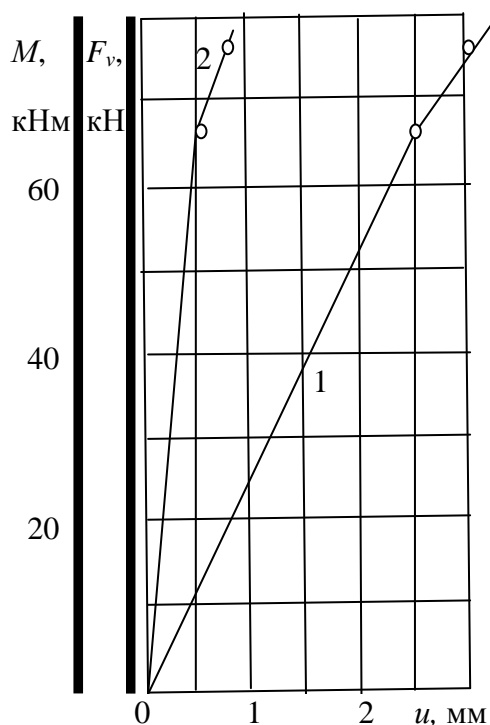


Рис. 3. График зависимости горизонтальных перемещений граней свай-колонн на отметке 0,0 от нагрузок:  
1 – свая-колонна С-1; 2 – свая-колонна С-2

Таблица 3 – Результаты измерений деформаций в грунте, возникающие перед нагруженными частями боковых граней опытных свай

Нагрузки	Свая С-1			Нагрузки	Свая С-2		
	Горизонтальные перемещения, мм				Горизонтальные перемещения, мм		
	$u$	$u_o$	$u_y$		$u$	$u_o$	$u_y$
$F_v = 120\text{кН}; M = 0$	3,1	2,2	0,9	$F_v = 120\text{кН}; M = 0$	0,9	0,4	0,5

**Выводы:** 1. Упругие деформации с ростом нагрузки нарастают по линейной зависимости.

2. Выполненные исследования позволили экспериментально обосновать надежность разработанных конструкций (фундаменты возведены по первому варианту).

3. Изменение конструкции фундаментов позволило исключить земляные работы, уменьшить объем бетона и трудозатраты, сократить сроки строительства.

### Литература

1. Барчукова Т.Н. Распределение давлений по подземной части ствола сваи-колонны при действии нагрузок / Т.Н. Барчукова, М.А. Лещинская // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2009. – Вип. 33. – С. 310-313.

2. Тугаенко Ю.Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов, свай и свайных фундаментов / Ю.Ф. Тугаенко // Монографія. – Одеса.: Астропринт, 2009. – 146 с.

3. Барчукова Т.Н. Влияние геометрических параметров на несущую способность сваи-колонны / Т.Н. Барчукова // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2014. – Вип. 54. – С. 29-32.

Стаття надійшла 11.07.2016