

Ю.Ф. Тугаенко, докт. техн. наук, профессор

А.П. Ткалич, канд. техн. наук, доцент

Л.А. Логинова, канд. техн. наук, инженер

А.В. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

В.И. Шеховцов, канд. техн. наук, инженер

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ ИСПЫТАНИЯ СВАЯМИ

АННОТАЦИЯ: Приведены результаты испытаний грунтов двумя сваями - буронабивной и призматической, погруженной вдавливанием. Испытания выполнены по новой методике циклически-возрастающей нагрузки. Ее применение позволяет определять сопротивление сдвигу по поверхности ствола сваи в целом, на отдельных участках ее длины и сжатию ниже ее подошвы. Исследования выполнены на стандартном оборудовании для испытаний грунтов вертикальной вдавливающей нагрузкой.

Ключевые слова; СВАЯ; НАГРУЗКА; ОСАДКА;
СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ; СОПРОТИВЛЕНИЕ СЖАТИЮ.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. При проектировании свайных фундаментов и после устройства свайного поля выполняются испытания свай статической вдавливающей нагрузкой [1; 2; 3; 5]. Стандартом не предусмотрено определение сопротивления сдвигу по поверхности ствола и сжатию ниже подошвы сваи. В статье приведены результаты определений указанных характеристик, полученных по результатам испытаний с использованием стандартного оборудования по методике циклически-возрастающей нагрузки.

Анализ последних исследований и публикаций. Определению несущей способности свай и характеристик сопротивления грунтов по поверхности ствола и ниже острия посвящено много публикаций. Предложенные методы требуют применения специального оборудования и сложных измерительных комплексов [7]. Новые методики ускоренного испытания позволяют определить несущую способность свай без учета характеристик сопротивления грунтов [4; 8]. Нами опубликованы

результаты, полученные по методике циклически-возрастающей нагрузки, которая отличается от стандартных испытаний изменением технологии приложения нагрузки, и позволяет определять сопротивление грунтов сдвигу вдоль поверхности ствола и сжатию ниже острия [6].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которой посвящается статья. Действующим стандартом по испытаниям грунтов сваями вертикальной вдавливающей нагрузкой предусмотрено определение предельной и расчетной нагрузок на сваю без учета сопротивления грунтов сдвигу на поверхности ствола и сжатию ниже подошвы. Эта методика не позволяет корректировать длину сваи при необходимости изменения расчетной нагрузки.

Статья посвящена определению характеристик сопротивления грунтов по результатам испытания свай по методике циклически-возрастающей нагрузки, которая позволяет определить сопротивление сдвигу по поверхности ствола на отдельных участках его длины и сжатию ниже острия.

Цель работы - анализ результатов исследований для определения характеристик сопротивления грунтов в основаниях буронабивной и призматической свай по методике циклически-возрастающей нагрузки.

Изложение основного материала. По действующему стандарту несущая способность сваи определяется без учета сопротивления грунта сдвигу вдоль поверхности ствола и сжатию ниже острия.

Определение характеристик сопротивления сдвигу и сжатию выполняется специальными исследованиями для научных целей (свай штампы; сваи, оборудованные тензодатчиками и тензоприборами и др).

В ОГАСА разработана новая методика определения характеристик сопротивления грунтов с применением оборудования, применяемого для стандартных испытаний. Ее особенностью является использование упругих и пластических свойств бетона и грунта для определения характеристик сопротивления сдвигу вдоль поверхности ствола и сжатию ниже острия сваи. С этой целью, наряду с общей осадкой сваи, определяются ее упругая и остаточная составляющие. Для получения этих параметров после каждой ступени нагрузки производится ее снятие и измерение остаточной части осадки. Вычитанием ее от общей величины определяется упругая часть деформаций. Испытание выполняется по методике циклически-возрастающей нагрузки. Каждый последующий цикл состоит из суммы предыдущей и очередной ступени нагрузки.

Для сокращения длительности стабилизации деформаций на каждой

ступени загрузки применен метод релаксации напряжений, предусмотренный действующим стандартом.

В грунтах наблюдаются два вида упругих деформаций мгновенно-упругая и вязко-упругая. Мгновенно-упругая определяется сразу после снятия нагрузки по разности общей и остаточной деформации, а вязко-упругая – в течение длительного времени.

В выполненных исследованиях определена мгновенная часть упругой деформации по измеренному значению остаточной части осадки, в течение 10 минут. Поэтому начало зависимости упругой составляющей осадки от нагрузки смещено от начала координат.

В процессе приложения нагрузки наблюдается два участка нарастания упругой составляющей осадки. Каждая ступень нагрузки, приложенная к свае, уравнивается силами сопротивления сдвигу вдоль поверхности ствола. Чем выше сопротивление сдвигу, тем короче участок длины ствола, в пределах которого наступает равновесие.

Предельное сопротивление сдвигу вдоль поверхности ствола P_f определяется в точке перелома зависимости упругой составляющей от нагрузки. После перелома зависимости, к упругой составляющей ствола добавляется часть осадки от упругого сжатия грунта ниже острия.

При нагрузке, соответствующей предельному сопротивлению сдвигу определяется значение относительной деформации упругого сжатия ствола, по зависимости:

$$\varepsilon_y = s_y / l_f, \quad (1)$$

где: ε_y - относительная деформация упругого сжатия ствола;

s_y - упругая часть осадки при нагрузке P_f ; l_f - длина сваи;

Используя формулу (1) можно определить для каждой ступени нагрузки (P_i) длину сжатого участка сваи по зависимости:

$$l_{f,i} = s_{y,i} / \varepsilon_{y,i} \quad (2)$$

На участке застройки многоэтажных зданий по ул. Солнечной, 4 в г. Одессе проведены испытания двух свай: одна погружена методом вдавливания и испытана через 10 дней после погружения, а вторая – буронабивная, диаметром 600мм – через 6 лет после изготовления.

Показатели физико-механических свойств грунтов приведены в табл.1, а геологический разрез и схема высотного положения свай на рис. 3.

Физико-механические показатели грунтов

№ ИГЭ	w, д.е.	w _L , д.е.	w _p , д.е.	ρ _d , г/см ³	ρ _s , г/см ³	S _r , д.е.	E/E _{sat} , МПа	φ, град	c, кПа
2	0,22	0,34	0,21	1,44	2,70	0,68	8/5	17	12
3	0,28	0,29	0,19	1,40	2,70	0,81	5/3	16	8
4	0,24	0,36	0,22	1,47	2,71	0,77	9/6	18	18
5	0,26	0,39	0,23	1,47	2,72	0,83	12/10	18	27
6	0,25	0,43	0,25	1,47	2,73	0,80	14/14	18	39
7	0,28	0,44	0,24	1,53	2,74	0,98	15/15	21	46

Значения φ и c приведены для грунтов в водонасыщенном состоянии

Призматическая свая. Погружение призматических свай выполнено вдавливанием до нагрузки 1,2 МН, при которой зафиксирован «отказ». При ее повышении от 1,2 до 1,52 МН остаточная часть осадки увеличилась на 0,55 мм. Этот факт можно объяснить наличием ниже уплотненного ядра слоя плотной глины с возможным включением жерствы известняка ракушечника. Высокая плотность скелета (1,53 г/см³) и практически полное заполнение пор грунта водой ($S_r=0,98$) определяют ее низкую сжимаемость. Это подтверждено результатами испытаний, которые приведены на рис. 1,а в виде графиков зависимости осадки от нагрузки ее упругой и остаточной составляющих для сваи №122. По точке перелома зависимости упругой составляющей осадки определено ее предельное значение, уравновешенное силами сдвига вдоль ствола $P_f=0.75\text{МН}$, и значение относительной деформации упругого сжатия сваи ε_y по зависимости (1). На рис.1.б приведены зависимости упругой составляющей осадки и относительной деформации от нагрузки. На этом же графике приведена зависимость упругой составляющей осадки от нагрузки. По двум графикам для каждой ступени нагрузки определено значение длины сжатого участка ствола. Результаты определения приведены в табл.2 и на рис. 1, б.

Результаты определений приведены в табл. 3 и на рис.1,в. По графику зависимости остаточной деформации от нагрузки можно судить о деформировании грунта ниже острия сваи. Так в данном исследовании в интервале нагрузок 0,75 – 1,52 МН величина сжатия грунта ниже острия составила около 0,5 мм. Это свидетельствует о его низкой сжимаемости в

пределах уплотненного ядра и ниже его границы (ИГЭ-7). По условиям деформирования эта свая является сваей-стойкой.

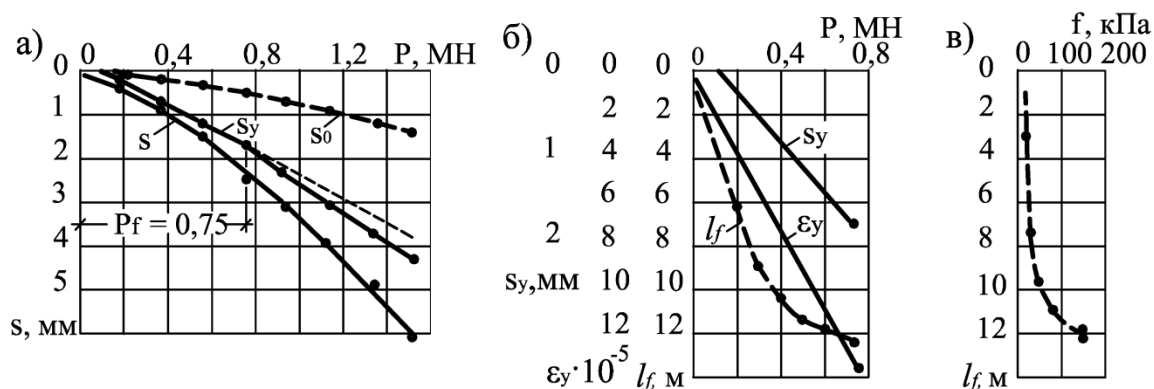


Рис.1. Результаты испытаний сваи №122. Графики зависимости: а) осадки сваи, ее упругой и остаточной составляющих от нагрузки; б) упругой части осадки относительной деформации и длины сжатого участка от нагрузки; в) сопротивления сдвигу по длине ствола

Таблица 2

Определение параметров упругого деформирования ствола сваи № 122

Параметры	Значение параметров					
	P_i, MN	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$s_{y,i}, \text{cm}$	0,022	0,048	0,075	0,102	0,128	0,17
$\varepsilon_{y,i} \cdot 10^{-5}$	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8	13,5
$l_{f,y,i}$	611	889	1042	1138	1185	1258

По графику $l_f = f(P)$ подсчитаны значения сопротивления сдвигу на отдельных участках длины ствола по зависимости:

$$\Delta f_i = \Delta P_i / \Delta l_{f,i} \cdot u, \quad (2)$$

где u – периметр сваи.

Таблица 3

Определение сопротивления грунтов сдвигу на отдельных участках длины ствола сваи №122

Параметры	Значения параметров					
	$P_i \dots P_{i+1}, \text{MN}$	0...0,2	0,2...0,3	0,3...0,4	0,4...0,5	0,5...0,6
$\Delta P_i, \text{MN}$	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15
$\Delta l_{f,y}, \text{m}$	6,11	2,78	1,53	0,91	0,5	0,73
$\Delta A_{f,i}, \text{m}^2$	8,53	3,89	2,14	1,27	0,7	1,02
$\Delta f_i, \text{kPa}$	23,4	25,7	46,7	78,7	142,8	147,0

Буронабивная свая испытана через 6 лет после ее изготовления. По результатам испытаний построены графики зависимости остаточной и упругой составляющих осадки от нагрузки, представленные на рис.2, а, а также графики зависимости: упругой части осадки, относительной деформации и длины сжатого участка ствола от нагрузки (рис.2,б). Предельное сопротивление сдвигу вдоль ствола составило $P_f=1,02$ МН. По полученным зависимостям построен график сопротивления сдвигу по длине сваи (рис.2,в).

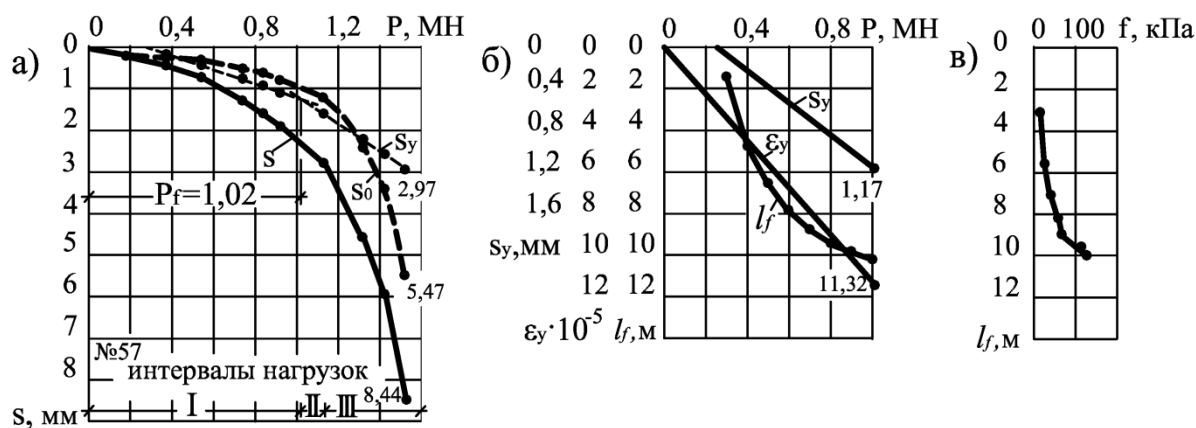


Рис. 2. Результаты испытания буронабивной сваи №57: а) графики зависимости осадки сваи и ее составляющих от нагрузки; б) зависимости от нагрузки упругой части осадки, относительной упругой деформации и длины сжатого участка; в) зависимость сопротивления сдвигу по длине сваи.

Определены параметры упругого деформирования ствола сваи и сопротивления грунтов сдвигу по его поверхности, приведенные в табл. 4, 5.

Таблица 4

Определение параметров упругого деформирования ствола сваи №57

Параметры	Параметры упругих деформаций								
	$P_i \dots P_{i+1}, \text{ МН}$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,02
$s_{y,i} \text{ см}$	0,005	0,021	0,036	0,052	0,067	0,083	0,098	0,117	
$\epsilon_{y,i} \cdot 10^{-5}$	3,4	4,45	5,5	6,6	7,7	8,8	9,9	11,32	
$\Delta l_{fy}, \text{ см}$	147	472	654	788	870	943	990	1033	

Нагрузка на подошву сваи равна разности ее конечного значения (1,52 МН) и нагрузки равной предельному сопротивлению сдвигу (1,02 МН). Зависимость остаточной составляющей осадки от нагрузки является следствием необратимого сжатия ствола сваи и уплотнения грунта ниже ее подошвы. На графике зависимости остаточной осадки от нагрузки условно можно выделить три интервала нагрузки.

Определение характеристик сопротивления грунтов сдвигу на отдельных участках длины ствола сваи № 57

Параметры	Значения параметров							
	0-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,02
$P_i - P_{i+1}, \text{ МН}$	0-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,02
$\Delta P_i, \text{ МН}$	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,102
$\Delta l_{f,y}, \text{ м}$	1,47	3,25	1,82	1,34	0,82	0,73	0,47	0,43
$\Delta A_{f,i}, \text{ м}^2$	2,77	6,12	3,43	2,52	1,54	1,38	0,88	0,81
$\Delta f_i, \text{ кПа}$	-	16	29	40	65	73	114	127

Первый наблюдается в процессе сжатия ствола в интервале нагрузок $0 \dots P_f$ и является следствием необратимых деформаций бетона сваи. Второй характеризует начальную стадию деформирования грунта ниже подошвы сваи, в которой преобладают упругие деформации. В пределах третьего интервала происходит деформирование грунта под влиянием давления, передаваемого подошвой сваи. Здесь преобладают остаточные деформации. В табл.6 приведены результаты определения осадок, являющихся следствием деформирования системы свая – грунты основания.

Таблица 6

Значения осадки и ее составляющих в процессе приложения нагрузки на сваю №57

№	Нагрузка, МН		p , МПа	Приращение осадок, мм		
	интервалы	ΔP		Δs	Δs_y	Δs_0
I	0...1,02	1,02	-	2,3	1,2	0,9
II	1,02...1,14	0,12	0,42	0,5	0,3	0,2
III	1,14...1,52	0,38	1,34	5,6	1,4	4,2

Примечания: ΔP – приращение нагрузки между интервалами; p – давление по подошве сваи, площадью $0,283 \text{ м}^2$; Δs , Δs_y , Δs_0 – приращения осадок, определенные по графикам рис.2,а.

На рис.3 приведено высотное положение свай, совмещенное с колонкой геологического строения участка. На графике показаны изменения сопротивления сдвигу по длине ствола сваи. В верхней части основания сложенного слабыми лессовыми грунтами залегающими ниже уровня подземных вод (ИГЭ-3; 4) значения сопротивления сдвигу у двух свай близко совпадают. В нижней части, в пределах (ИГЭ-5; 6), сопротивление сдвигу у буронабивной сваи 1,5 раза выше, чем у

призматической. Этот факт, зафиксированный по результатам исследований можно объяснить условиями технологии изготовления свай и фактором времени.

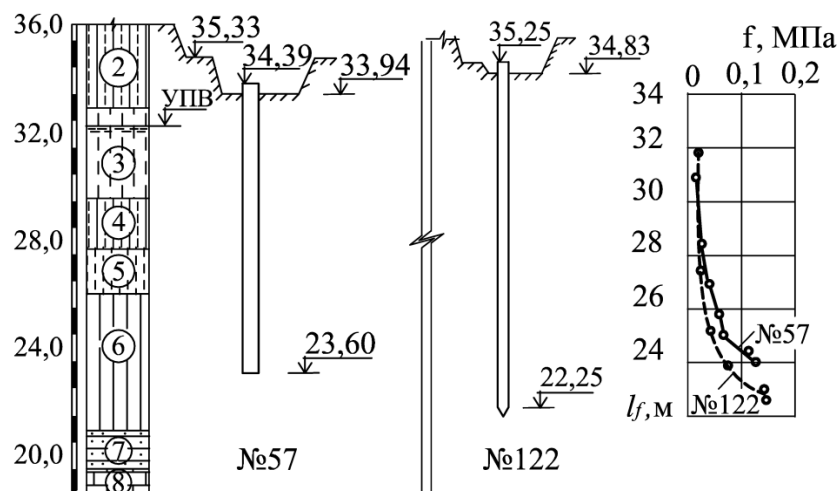


Рис.3. Высотная схема расположения свай №№ 57 и 122. Графики изменения сопротивления сдвигу

При погружении призматической сваи вдавливанием грунт ниже острия уплотняется, образуя уплотненное ядро, и раздвигается в стороны, создавая зону уплотнения вокруг сваи. Шероховатая поверхность ее ствола выше основания острия перемещается вдоль уплотненного грунта, снижает ее сцепление на контакте с уплотненным грунтом.

Буронабивная свая изготавливается в пройденной скважине. На стенки скважины и грунт ниже подошвы оказывает давление пластичная масса бетона до начала его схватывания. Это способствует плотному примыканию бетонной смеси к стенкам скважины и возможному уплотнению окружающего грунта.

При длине сваи 10,0 м давление на стенки скважины у забоя составляет 250 кПа. Его значение снижается до нуля у поверхности котлована. Вторым фактором может быть длительность «отдыха» после изготовления. Буронабивная свая испытана через 6 лет после изготовления, а призматическая – через 10 дней.

Выводы:

1. По результатам исследований грунтов буронабивной и призматической сваями, проведенными методом циклически-возрастающей нагрузки, определены сопротивление сдвигу по поверхности ствола и сжатию ниже подошвы.

2. Соппротивление сдвигу в верхней половине основания имеет близкую сходимость, а в нижней, сложенной тяжелыми суглинком и глиной, у буронабивной в 1,5 раза выше, чем у призматической.

3. По зависимостям упругой и остаточной составляющих осадки определена последовательность деформирования системы свая – грунты основания и количественные значения характеристик сопротивления грунтов сдвигу и уплотнению.

Список литературы:

1. Бахолдин Б.В. Исследование напряженно-деформированного состояния основания одиночной сваи в глинистом грунте при действии кратковременной нагрузки / Б.В. Бахолдин, В.И. Стуров // Основания, фундаменты и подземные сооружения. - Сб. № 71 НИИ Оснований. - М.: Стройиздат, 1980. – С. 68-72.
2. Бойко І.П. Дослідження несучої здатності буроін'єкційної палі великого діаметру / І.П. Бойко, Ю.В. Карпенко, С.М. Новофастовський, В.С.Подпрятков // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2002. – Вип. 27.
3. Григорян А.А. Свайные фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах / А.А. Григорян. – М.: Стройиздат, 1984. – 162 с.
4. Коваль В.Е. Новый метод статических испытаний свай / В.Е. Коваль, В.И. Ищенко // Будівництво України, 2002. - № 4. – С.42-43.
5. Корнієнко М.В. Дослідження несучої здатності основи по глибині при підсиленні фундаментів вдавлюваними палями / М.В. Корнієнко, О.Ф. Лебеда, В.О. Мовчан // Будівельні конструкції. - Випуск 61. - Механіка ґрунтів, геотехніка, фундаментобудування. – К.: - НДІБК, 2004. - Том 1. - С. 332-337.
6. Новожилов Г.Ф. Испытания тензометрических свай в различных грунтовых условиях Ленинграда / Г.Ф. Новожилов, Ю.Н. Платонов // Проектирование и возведение фундаментов транспортных зданий и сооружений из свай и оболочек в сложных грунтовых условиях. – Ленинград, 1974. – С. 56 - 62.
7. Тугаенко Ю.Ф., Ткалич А.П., Гевондян А.Р. Методика и результаты исследований сопротивления грунтов нагрузке, приложенной к буронабивной свае // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Випуск 18. – Одеса, 2005. - С. 260-264.
8. Melvin J. Esrig. Load Test a Pile in as Ten Minutes // Engeneering New – Record 1963, January. (Новый метод испытания свай, испытание нагрузкой в течении 10 мин). Проектный институт «Фундаментпроект». Материалы по проектированию сложных фундаментов и оснований и по производству изысканий. - №2.- Центральное бюро технической информации. Москва, 1963.- С39-40.

Ю. Ф. Тугаенко, докт. техн. наук, професор

А. П. Ткаліч, канд. техн. наук, доцент

Л. А. Логінова, канд. техн. наук, інженер

А. В. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

В. І. Шеховцов, канд. техн. наук, інженер

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРУ ҐРУНТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ ПАЛЯМИ

АНОТАЦІЯ: Наведено результати випробувань ґрунтів двома палями - буронабивною і призматичною, яка занурена вдавлюванням. Випробування проведено за новою методикою циклічно-зростаючого навантаження. Її застосування дозволяє визначати опір зрушенню по поверхні стовбура палі в цілому, на окремих ділянках її довжини і стиску нижче її підошви. Дослідження виконані на стандартному обладнанні для випробувань ґрунтів вертикальним вдавлювальним навантаженням.

Ключові слова: ПАЛЯ; НАВАНТАЖЕННЯ; ОСІДАННЯ; ОПІР ЗРУШЕННЮ; ОПІР СТИСЧЕННЮ.

Y.F. Tugaenko, ScD, Professor

A.P. Tkalic, PhD, Associate Professor

L.A. Loginova, PhD, engineer

A.V. Bondarenko, PhD, Associate Professor

I.V. Shehovtsov, PhD, engineer

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

DETERMINATION OF RESISTANCE OF SOIL ON THE RESULTS OF THEIR TEST PILES

ABSTRACT: The results of soil tests in two piles - drilled and prismatic submerged indentation. Tests carried out using the new method cyclically-increasing load. Its application allows to determine the shear resistance of the surface of the pile shaft in general, in some areas of its length and compression below its sole. The studies were performed on standard equipment for testing of ground vertical presses the load.

Keywords: PILE; LOAD; SETTLEMENT; SHEAR RESISTANCE; COMPRESSIVE STRENGTH.