

**РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ
БУРОНАБИВНЫМИ СВАЯМИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ
УСИЛЕНИИ ФУНДАМЕНТОВ КИРХИ В г. ОДЕССЕ**

**Новский А.В., Ткалич А.П., Тугаенко Ю.Ф., Василевская Л.А.,
Новский В.А.** (*Одесская государственная академия строительства и
архитектуры*)

Приведены результаты исследований грунтов двумя буронабивными сваями на вертикальную вдавливающую и выдергивающую нагрузки в грунтах природной влажности и после локального замачивания.

Кирха – лютеранская церковь Святого Павла – памятник архитектуры и одно из красивейших сооружений города Одессы.

Первое здание Кирхи было построено по проекту архитектора Ф. Боффо в 1824-27 г.г. К концу XIX века оно обветшало и перестало удовлетворять требованиям немецкой общины по размерам церковного зала и скромности убранства. В 1895-97 г.г. прежнее здание было разобрано и по проекту архитектора Шеврембранта сооружен новый храм в стиле англо-германской архитектуры XV-XVI веков. В Советское время здание Кирхи использовалось не по назначению. В конце 90-х годов оно было возвращено немецкой евангелистской лютеранской церкви.

Участок, на котором расположено здание Кирхи, является самой высокой точкой центральной части города. Основание фундаментов сложено многометровой толщей просадочных грунтов.

Геологическое строение участка представлено на рис.1 и характеризуется следующими инженерно-геологическими элементами (ИГЭ): 0 - насыпной слой ; 1 - суглинок средний, лессовидный, светло-коричневый; 2 - лесс палевый; 3 - суглинок средний, лессовидный, коричневый; 4 - суглинок средний, лессовидный, желто-серый; 5 - суглинок лессовидный, светло-бурый; 6 - суглинок тяжелый, бурый; 7 - глина красно-бурая.. Показатели физико-механических свойств грунтов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов.

| № | Показатели | №№ ИГЭ | | | | | | |
|---|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | $\rho_s, \text{г/см}^3$ | 2,70 | 2,69 | 2,70 | 2,69 | 2,70 | 2,72 | 2,73 |
| 2 | $\rho_d, \text{г/см}^3$ | 1,33 | 1,37 | 1,44 | 1,46 | 1,51 | 1,57 | 1,57 |
| 3 | w_L | 0,30 | 0,26 | 0,33 | 0,29 | 0,34 | 0,38 | 0,41 |
| 4 | w_p | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,23 |
| 5 | E, МПа | 8/4 | 6/3 | 9/8 | 7/4 | 10/8 | 14/12 | 15 |
| 6 | φ , град | 21/19 | 19/17 | 21/19 | 20/18 | 22/20 | 23/21 | 21 |
| 7 | c, кПа | 27/18 | 10/6 | 30/21 | 15/9 | 36/24 | 39/27 | 43 |
| 8 | ε_{sl} при p , МПа 0,2 | 0,041 | 0,033 | 0,011 | - | - | - | - |
| | 0,3 | 0,055 | 0,045 | 0,018 | - | - | - | - |

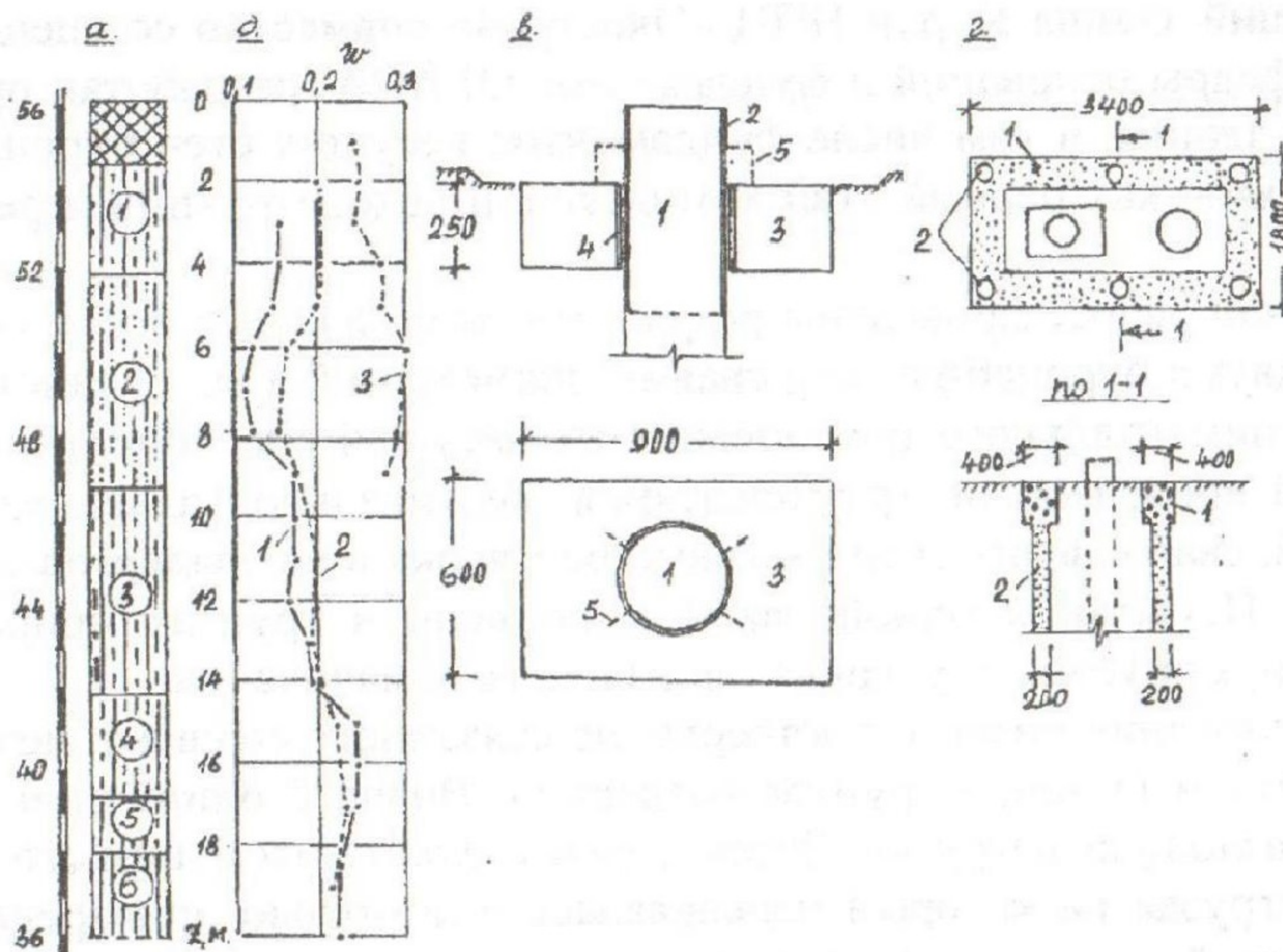


Рис. 1. Методика испытаний:

- Геологическое строение участка с шкалой абсолютных отметок.
- Влажность по глубине: 1- при изысканиях; 2 – при бурении скважин для свай; 3- после локального замачивания.
- Устройство фрагмента ростверка при комплексном испытании свай: 1- свая; 2;4 – обечайки в свае и ростверке; 3 – фрагмент низкого ростверка; 5 – косынки для соединения свай с ростверком.
- Дренажная система для локального замачивания: 1- грунтовый лоток, заполненный щебнем; 2 дренажные скважины, заполненные песком.

Снижение несущей способности нижних горизонтов основания произошло в результате их увлажнения, что вызвало развитие осадок наиболее загруженных частей здания: колокольни со стороны главного входа, а также двух башен со стороны дворового торца. Вследствие неравномерных осадок появились трещины в продольных стенах зала, раскрывающиеся кверху. Зафиксированные деформации носят явно просадочный характер.

Изысканиями 2005 г. были подтверждены просадочные свойства грунтов основания. Это означает, что в результате имевших место ранее аварийных увлажнений грунтов, их просадочные свойства полностью не исчерпаны. Таким образом, для стабилизации деформаций основания здания было принято решение выполнить усиление фундаментов.

По результатам обследований состояния надземных и подземных конструкций здания Кирхи НПЦ «Экострой» совместно со специалистами кафедры оснований и фундаментов ОГАСА разработан проект усиления здания, в том числе фундаментов несущих стен буронабивными сваями, как первый этап комплексной реконструкции и реставрации.

В данной работе приведены результаты комплексных исследований грунтов двумя буронабивными сваями диаметром 0,3 м, длиной 11 м для экспериментального обоснования их несущей способности. Каждой сваей проведено по три испытания: вертикальной вдавливающей нагрузкой, сваи с фрагментом низкого ростверка и на выдергивающую нагрузку. Испытания одной сваей выполнено в грунтах природной влажности, а другой – в условиях локального замачивания.

Использование низкого ростверка, не связанного со сваей, позволило провести испытания грунтов отдельно. Вначале одиночной сваей на вдавливающую нагрузку. Затем сваей с фрагментом низкого ростверка, нагрузка на который передавалась с помощью приваренных к обечайке свай косынок. На третьем этапе проведены испытания выдергивающей нагрузкой.

Локальное замачивание выполнено после окончания испытаний грунтов природной влажности [1]. Замачивание проведено через дренажную траншею шириной 0,4 м, которая была устроена вокруг двух опытных свай длиной 11 и 19 м. Из траншей пройдено шесть скважин, заполненных песком. Площадь замачиваемого участка составила 6,1 м². В течение 7 суток в основание поступило 172 м³ воды, что составило 28,2 м³ на 1 м² замачиваемой площади. Поступление воды контролировалось водомером. Схема дренажной системы приведена на рис. 1,2.

На рис. 2,б приведены графики влажности до и после локального замачивания.

Вертикальная вдавливающая и выдергивающая нагрузки создавались домкратом ДГ-100. Измерения перемещений свай выполнялось двумя прогибомерами 6 ПАО с ценой деления 0,01 мм.

Нагружение опытных свай выполнено по методике циклически возрастающей нагрузки, сущность которой заключается в разгрузке сваи после стабилизации осадки на каждой ступени. Такая методика позволила определить величину упругой составляющей осадки, которая равна разности между полной величиной и ее остаточной составляющей [2,3]. По полученным данным построены графики зависимости полных осадок и их остаточной и упругой составляющих от нагрузки. На рис. 2 а, б представлены такие графики по результатам проведенных испытаний в грунтах природной влажности и после локального замачивания.

График зависимости упругой составляющей осадки от нагрузки в буронабивных сваях с уплотненным забоем имеет три ветви, каждая из которых соответствует нарастанию деформаций в одной из трех сред: в пределах ствола, глубины уплотненной зоны и природном грунте. Точки их перелома определяют величину нагрузки, при которой начинают нарастать деформации в очередной среде.

На рис. 3,а, приведены графики зависимости упругой составляющей осадки от нагрузки для двух испытанных свай. Нагрузка, соответствующая точке перелома первой ветви в сумме с весом сваи является предельной для сил бокового трения. Результаты, полученные при испытаниях, приведены в табл.2.

Для подтверждения этого факта выполнены испытания этих же свай на выдергивающую нагрузку. Оба испытания проведены без «отдыха» сваи, на следующий день после испытания на вдавливание.

Нагрузка, уравновесившая силы бокового трения получена после прекращения подачи давления в камеру домкрата при достижении «срыва» - нестабилизированного нарастания выхода ствола из грунтового основания.

Троекратное приложение критической выдергивающей нагрузки в пульсирующем режиме позволило установить среднюю величину нагрузки, равной предельному сопротивлению грунтов по боковой поверхности. Ее значение определено разностью между средним значением полученным при испытаниях и весом сваи (см. табл.2).

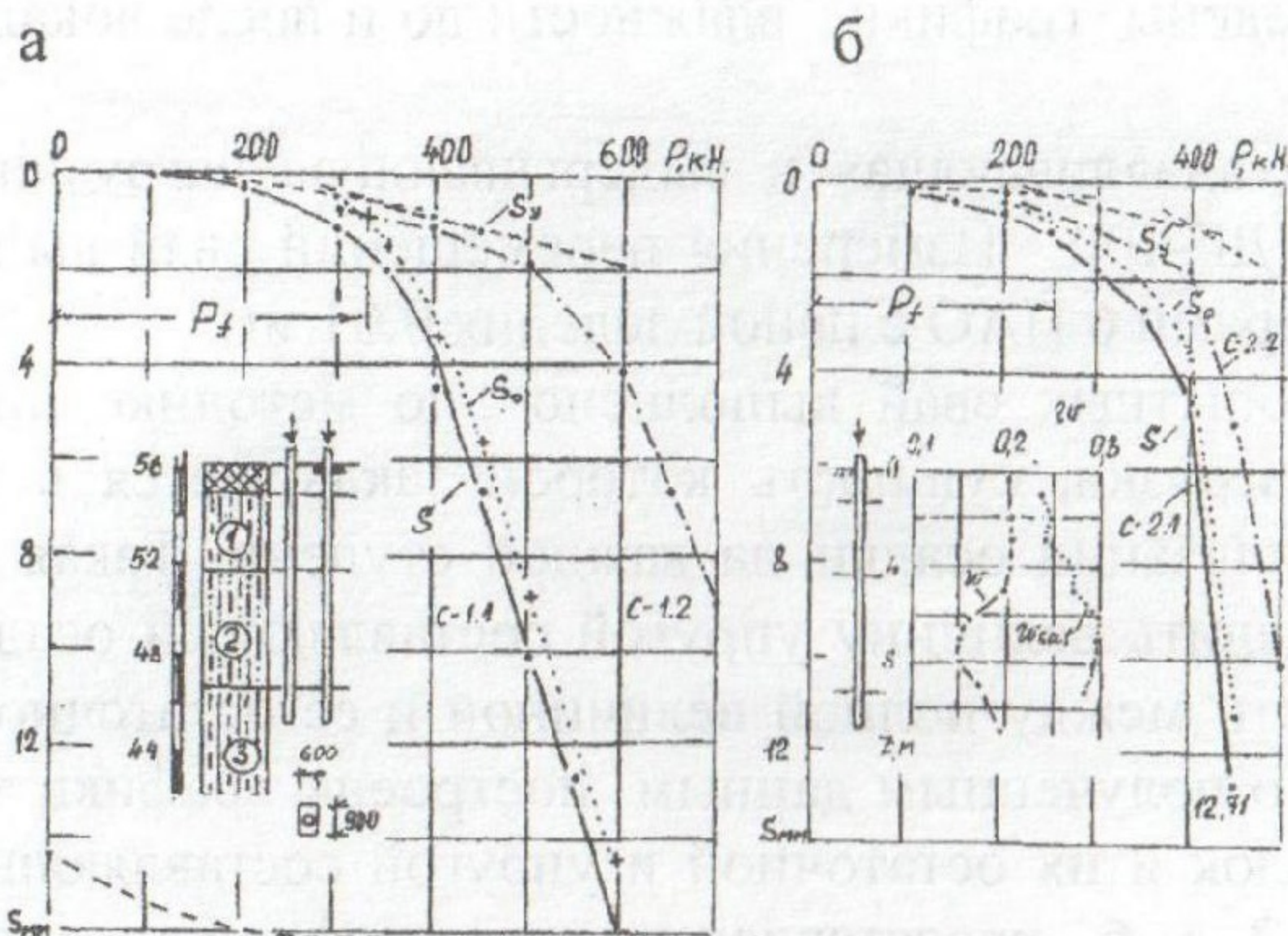


Рис. 2. Графики зависимости осадки от нагрузки: а) в грунтах природной влажности; б) после локального замачивания основания. На графике приведены значения влажности по глубине до и после замачивания. С 1.1 и С 2.1 – результаты испытаний не вертикальную, вдавливающую нагрузку, где S ; S_0 и S_y – полная осадка и ее остаточная и упругая составляющие; С 1.2 и С 2.2 - результаты испытаний свай с фрагментом низкого ростверка.

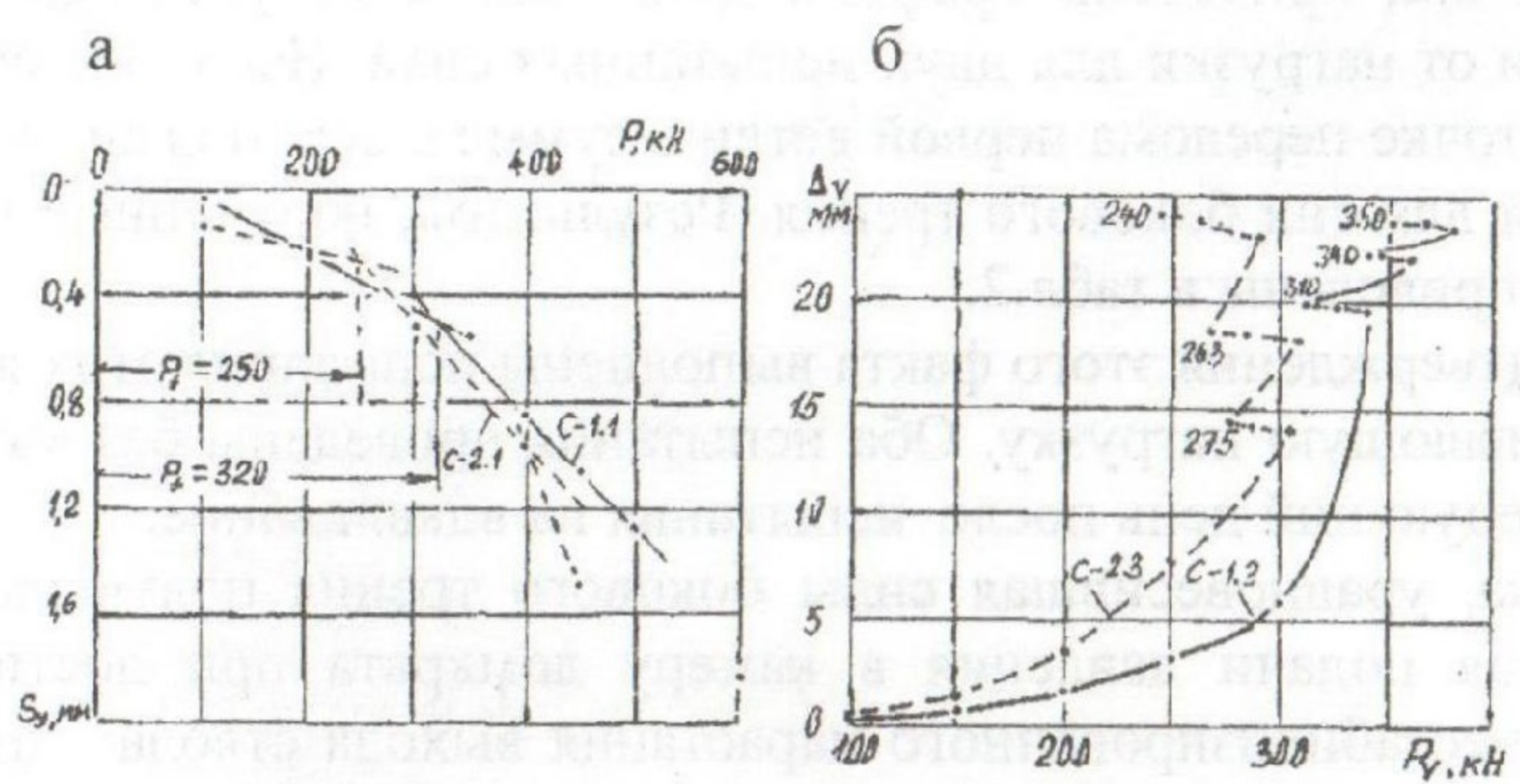


Рис.3. а) графики зависимости упругих составляющих осадки в сваях С 1.1 и С 2.1 от нагрузки; б) графики зависимости выхода свай С 1.3 и С 2.3 из грунтов основания при выдергивающей нагрузке.

Расхождение между значениями сил бокового трения, определенными вдавливающей и выдергивающей нагрузками, составило около 10%.

В выполненных исследованиях грунтов сваями без ростверка и с фрагментом низкого ростверка получены данные его влияния на со-

противление основания приложенным нагрузкам. В проведенных исследованиях основание ниже подошвы ростверка представлено неоднородными, плохо слежавшимися насыпными грунтами мощностью до 2м, которые перед устройством ростверка были уплотнены малогабаритной механической трамбовкой на глубину до 30см.

Таблица 2

Предельные значения сил трения по результатам испытаний грунтов сваями при вдавливании и выдергивании.

| № опы- | Параметры свай | | Вдавливающая нагрузка, кН | | Выдергивающая нагрузка, кН | | $f_{cp,lim}$ кН/м ² | | $P_{f,lim}/P_{v,lim}$ |
|--------|----------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|
| | G, кН | A_f , м ² | P_f | $P_{f,lim} = P_f + G$ | P_v | $P_{v,lim} = P_v - G$ | $P_{f,lim}/A_f$ | $P_{v,lim}/A_f$ | |
| 1 | 18 | 10,4 | 320 | 338 | 333 | 315 | 32,5 | 30,3 | 1,07 |
| 2 | 18 | 10,4 | 250 | 268 | 259 | 241 | 25,8 | 23,2 | 1,11 |

Примечания: G – вес свай; A_f – площадь боковых граней свай; P_f и P_v – предельные нагрузки, равные силам трения при вдавливании и выдергивании; $f_{cp,lim}$ – среднее значение предельного сопротивления трению.

На рис. 2, и в таблице 3 приведены результаты испытаний двух свай с фрагментом низкого ростверка в грунтах природной влажности и в водонасыщенном состоянии.

Таблица 3

Влияние низкого ростверка на сопротивление основания вдавливающей нагрузке.

| №№ опытов | Параметры ростверка | | Нагрузка, кН при осадке 0,4 см. | | | $\frac{P_c + P_p}{P_c}$ | p, кПа |
|-----------|---------------------|------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------------------------|--------|
| | a x b, м | A_p , м ² | $P_c + P_p$ | P_c | P_p | | |
| 1.1 и 1.2 | 0,6x0,9 | 0,46 | 590 | 410 | 180 | 1,44 | 392 |
| 2.1 и 2.2 | | | 440 | 390 | 50 | 1,13 | 109 |

Примечания: a, b – размеры ростверка, A_p – площадь подошвы ростверка, P_c ; P_p – нагрузка на сваю и ростверк; p – давление по подошве ростверка.

Сопротивление вдавливанию ростверка зависит от вида и состояния грунтов.

При опирании ростверка на слой насыпного грунта невысокой влажности, уплотненного ниже его подошвы на небольшую глубину, несущая способность сваи повысилась на 44%, тогда как в водонасыщенном грунте только на 13%. При этом давление по подошве ростверка составило соответственно 392 и 109 кПа. При устройстве низкого ростверка насыпные грунты с недостаточным уплотнением по глубине не следует использовать в качестве основания.

Выводы:

1. Экспериментально обоснована возможность определения сил бокового трения по зависимости упругой составляющей осадки от нагрузки полученной при испытаниях сваи по методике циклически возрастающей нагрузки.
2. Расхождение между предельными значениями сил бокового трения, полученные по результатам проведенных исследований на вертикальную вдавливающую и выдергивающую нагрузки имеют близкую сходимость (около 10%).
3. Наличие низкого ростверка повышает несущую способность сваи. Доля его влияния зависит от состава и состояния грунтов залегающих в основании ростверка.

Литература

1. Григорян А.А. Свайные фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах. –М:Стройиздат.-1984.-162 с.
2. 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.-Одесса.-2005.-260-264.
3. Тугаенко Ю.Ф., Ткалич А.П. Результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния системы «свая-грунты основания» // проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях.-Труды Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию БашНИИСтроя. – Том 1 – свайные фундаменты. Экспериментально-теоретические исследования и практика проектирования.-Уфа.-2006.- С.137-141.