

А.В. Самородов, к.т.н., доцент

С.В. Табачников, аспирант

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЫДЕРГИВАЮЩИХ И ВДАВЛИВАЮЩИХ НАГРУЗОК

В статье приводятся результаты испытаний буринъекционных свай статическими вдавливающими и выдергивающими нагрузками. Анализируется несущая способность опытных буринъекционных свай с результатами расчета по существующим нормативным методикам.

Ключевые слова: *грунт, свая, перемещение, несущая способность, сопротивление грунта.*

А.В. Самородов, к.т.н., доцент

С.В. Табачников, аспирант

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ПОЛЬОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ БУРОІН'ЄКЦІЙНИХ ПАЛЬ ПРИ ДІЇ ВІСМИКУЮЧИХ ТА ВДАВЛЮЮЧИХ НАВАНТАЖЕНЬ

У статті наведено результати випробувань бурин'єкційних паль статичними вдавлюючими і висмикуючими навантаженнями. Аналізується несуча здатність дослідних бурин'єкційних паль із результатами розрахунку за існуючими нормативними методиками.

Ключові слова: *грунт, паля, переміщення, несуча здатність, опір ґрунту.*

A.V. Samorodov, Ph.D., Ass. prof.

S.V. Tabachnikov, graduate

Kharkiv National University of Construction and Architecture

FIELD STUDY OF BEARING CAPACITY CFA PILES UNDER THE INFLUENCE PULLED AND PRESSED LOADS

The paper presents the results of static tests CFA piles are pressed and pulls loads. Analyzes the bearing capacity of experienced CFA piles with the results of calculations by the existing regulatory procedures.

Keywords: *soil, pile, movement, bearing capacity, soil resistance.*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Буринъекционные сваи устраиваются путем забуривания в грунт полого шнека на проектную глубину с последующим заполнением скважины бетонной смесью, которая подается в процессе подъема шнека через клапан, расположенный в нижней части шнека. Армирование таких свай выполняется путем опускания в свежеуложенный бетон каркаса или отдельных стержней.

Многими исследователями установлено, что экономическая эффективность при использовании буринъекционных свай оказывается выше по сравнению с вариантом из

бурунабивных свай. При этом несущая способность на единицу объема для буруинъекционных свай значительно выше, а технологические особенности их устройства позволяют сократить сроки производства работ до 3 – 4 раз.

Обзор последних источников исследований и публикаций, в которых начато решение этой проблемы. Анализ материалов последних международных конференций, симпозиумов, отечественных и зарубежных публикаций, интернет-информации показывает, что на сегодняшний день весьма перспективным и продуктивным для решения геотехнических задач в строительстве являются буруинъекционные технологии, в частности, буруинъекционные сваи [5, 6, 7, 9, 10].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья. Сопоставление результатов испытаний свай с их расчетной несущей способностью демонстрирует значительный недоучет несущей способности свай в расчетах (до 1,6 раз [7]), что подтверждается статическими испытаниями. Для буруинъекционных свай характерно увеличение несущей способности за счет сопротивления по боковой поверхности, что обуславливается применением прогрессивных технологий бурения и опрессовки скважин, хотя исследований в этом направлении недостаточно.

Постановка задачи. Целью данной работы является выявление сил сопротивления по боковой поверхности и под нижним концом при определении несущей способности натуральных буруинъекционных свай в полевых условиях.

Основной материал и результаты. Испытания свай были проведены при реконструкции стадиона «Металлист» в г. Харькове. Кроме прочего числа, были испытаны две опытные буруинъекционные сваи длиной 12,0 м и диаметром $\varnothing 630$ мм. Сваи выполнены из бетона класса В20 и арматурного каркаса с рабочими стержнями - 8 $\varnothing 25$ А400С:

свая №1 – на вдавливающую нагрузку;

свая №2 – на выдергивающую нагрузку.

Основанием опытных свай служат глины твердой консистенции. Глубина погружения свай в несущий слой составляет $\approx 3,5 - 4,0$ м.

На рис.1 представлена схема расположения свай на инженерно- геологическом разрезе.

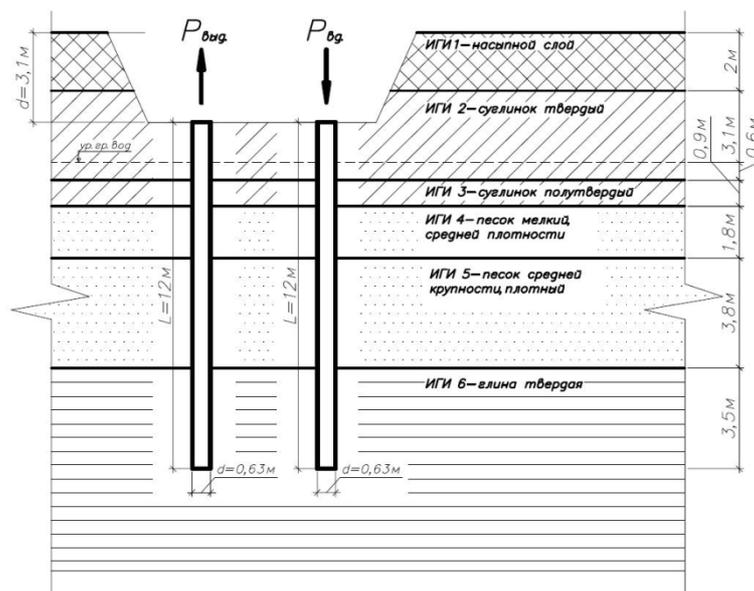


Рисунок 1 – Схема расположения свай в грунтовом массиве и действующие на них нагрузки

Согласно инженерно-геологических изысканий площадка строительства представлена в виде песчаных, суглинистых и глинистых грунтов с физико-механическими характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтов

Наименование	Усл. обознач.	Ед. изм.	Слой					
			1 - насыпной	2 – суглинок твердый	3 – суглинок полутвердый	4 – песок мелкий, средней плотности	5 – песок средней крупности, плотный	6 – глина твердая
Удельный вес грунта	γ	кН/м ³	16,3	19,14	20,12	18,0	20,0	17,57
Удельное сцепл. грунта	c	кПа	-	35	40	8	8	23
Угол внутреннего трения	ϕ	град.	-	15	25	36	38	22
Модуль деформации	E	МПа	-	20	28	32	40	15
Показатель текучести	I _L	-	-	0,5	0,33	-	-	0,56

Испытания проводились с помощью стэнда анкерного СА-600. Нагружение опытной сваи №1 выполнялось при помощи гидравлических домкратов, усилие от которых воспринималось винтовыми металлическими анкерными сваями. При испытаниях выдергивающими нагрузками сваи №2 стэнд устанавливался в проектное положение таким образом, чтобы передавать нагрузку домкратами через хомуты, приваренные к арматурным выпускам опытной сваи. Осадки (перемещения) сваи измерялись при помощи прогибомеров типа 6ПАО с ценой деления 0,01мм, располагаемых симметрично относительно опытной сваи.

Полевые испытания были проведены ХНУСА согласно Технического задания генпроектировщика (Харьковский ПромстройНИИпроект) и предварительно разработанной программой испытаний в соответствии с ДСТУ [4]. Устройство опытных буроинъекционных свай было выполнено ОАО «Южспецстрой».

На рис. 2 и 3 графически представлены результаты «поведения» свай, испытанных на вдавливающие и выдергивающие нагрузки.

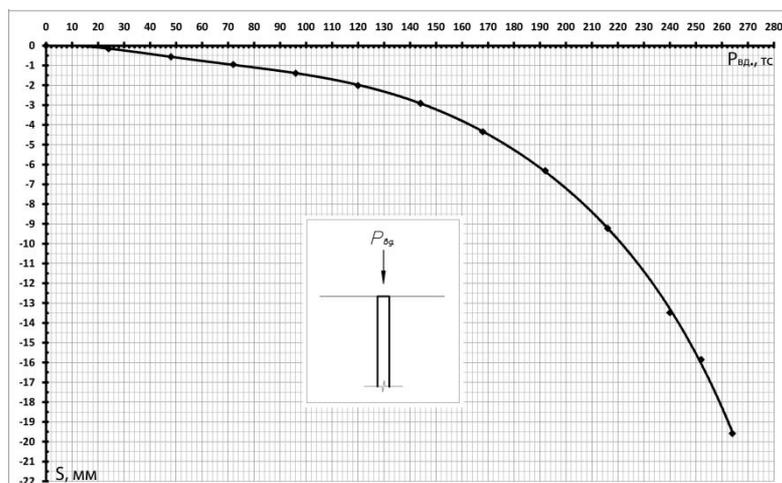


Рисунок 2 – График зависимости вертикального перемещения S сваи от вдавливающей нагрузки $P_{вд}$.

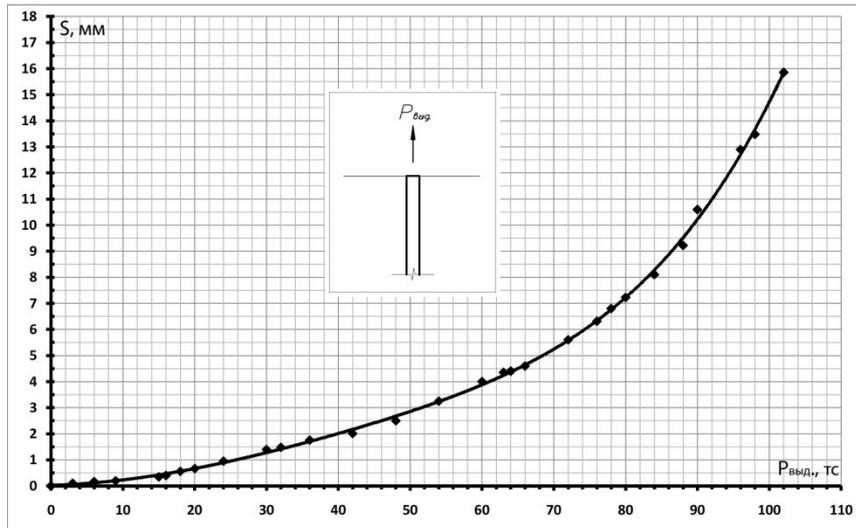


Рисунок 3 – График зависимости вертикального перемещения S сваи от выдёргивающей нагрузки $P_{\text{выд}}$.

Свая №1 испытана до предельной вдавливающей нагрузки 264 тс. Для сваи №2 опытная выдёргивающая нагрузка была доведена до 102 тс, после чего произошёл обрыв стержней арматуры.

Так как при выдёргивающих нагрузках свая «работает» только за счёт сил сопротивления по боковой поверхности, а при вдавливающих нагрузках имеет место и сопротивление грунта под нижним концом сваи, то вычитанием (рис. 4) определим силу сопротивления грунта под нижним концом сваи $P_{\text{под}}$ при равных перемещениях, что допускают нормы вне зависимости от направления приложения нагрузки [1, 3].

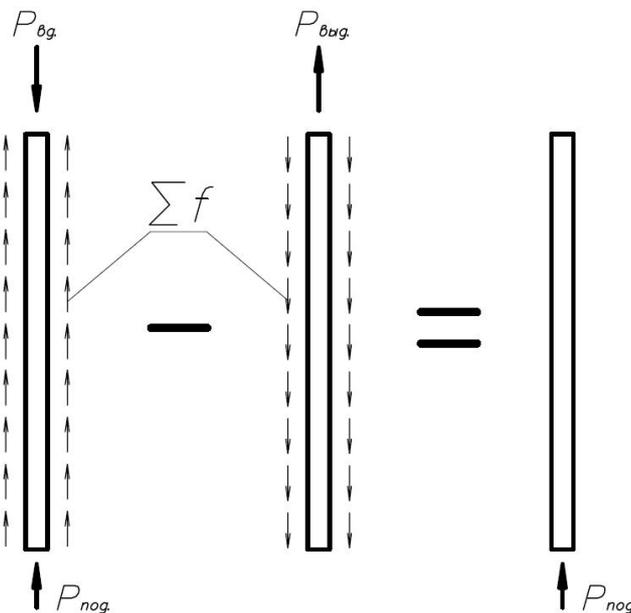


Рисунок 4 – Схематическое изображение определения сил сопротивления грунта под нижним концом сваи

Это в свою очередь позволяет провести теоретическую проверку осадок подошвы сваи на однородном полупространстве от приложенных нагрузок $P_{\text{под}}$ в упругой стадии (расчетное сопротивление основания подошвы сваи $R \approx 100 \text{ тс/м}^2$), воспользовавшись решением В.Г. Федоровского [2], без учета деформаций ствола сваи

$$S = \frac{0,22 \cdot P_{под.}}{G \cdot d}, \quad (1)$$

где $P_{под.}$ – приложенная сила под нижним концом сваи;

$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$ – модуль сдвига грунта, на который опирается свая;

d – диаметр подошвы сваи.

Результаты расчета сведены в табл. 2 и представлены графически на рис. 5.

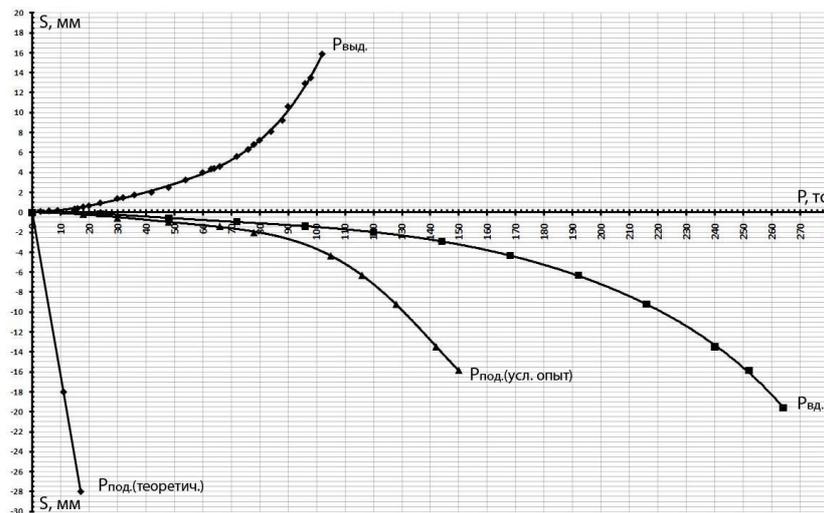


Рисунок 5 – Графики зависимости вертикального перемещения S сваи от вертикальных нагрузок $P_{вд.}$, $P_{вд.}$ и $P_{под.}$.

Таблица 2 – Результаты расчета

Опытные величины			Расчетные величины		
$S, мм$	$P_{вд.}, тс$	$P_{вд.}, тс$	$P_{под.} = (P_{вд.} - P_{вд.}), тс$	$p_{под} = P_{под.}/d, тс/м^2$	Осадка (упругая) под нижним концом сваи, $S, мм$
0	0	0	0	0	0
0,16	24	6	18	58	11
0,56	48	20	28	90	17
0,95	72	24	48	154	-
1,39	96	30	66	212	-
2,01	120	42	78	250	-
2,91	144	49	95	305	-
4,35	168	63	105	337	-
6,31	192	76	116	372	-
9,22	216	88	128	411	-
13,48	240	98	142	455	-
15,85	252	102	150	481	-

В соответствии с рисунком 1 несущая способность буринъекционной сваи длиной 12,0 м по нормам [1] на сжимающие нагрузки равна

$$\begin{aligned}
F_d &= \gamma_c (\gamma_{c,R} RA + u \sum \gamma_{c,f} f_i h_i) = \\
&= 1 \cdot \{1 \cdot 165 \cdot 0,312 + 1,98 \cdot 0,7 \cdot [4,632 \cdot 2 + 6,804 \cdot 0,9 + 3,808 \cdot 1,8 + 5,38 \cdot 2 + \\
&\quad + 6,37 \cdot 1,8 + 8,777 \cdot 2 + 9,677 \cdot 1,5]\} = \quad (2) \\
&= 51,48 + 106,08 = 157,56 \text{ тс} \approx 160 \text{ тс}.
\end{aligned}$$

Формула (2) показывает, что соотношение сил сопротивления под нижним концом ($R=P_{\text{под}} \approx 50 \text{ тс}$) к силам сопротивления по боковой поверхности ($\sum f \approx 110 \text{ тс}$) примерно равно $\frac{P_{\text{под}}}{\sum f} = \frac{1}{2}$, тогда как из графиков рис. 5 видно, что соотношение опытных величин, полученных на основании нормативного допущения о равенности сил сопротивления по боковой поверхности $\sum f$ в независимости от направления приложения вертикальной нагрузки (вдавливание или выдергивание) составляет $\frac{P_{\text{под}}}{\sum f} = \frac{150}{100} = \frac{3}{2}$. Т.е. получается, что давление под подошвой сваи в полевом эксперименте в 3 раза превышает расчетное сопротивление, полученное по формуле (2). Действительно, в полевых условиях мы получаем несущую способность сваи по деформациям, а расчет по формуле (2) ведется по прочности окружающего грунта, что имеет некоторую некорректность, однако, вычисленные значения осадок по формуле (1) показывают превышение ожидаемых деформаций подошвы сваи от приложенных нагрузок $P_{\text{под}}$ в 30 и более раз (см. табл. 1 или графики рис. 5).

Это указывает на невозможность восприятия грунтом под подошвой сваи таких значительных давлений, а так как несущая способность сваи, полученная опытным путем ($\approx 250 \text{ тс}$), в 1,5 раза больше расчетной величины, то увеличение сопротивления буроинъекционной сваи происходит именно за счет увеличения сил сопротивления по боковой поверхности сваи. В этом случае нормативное положение о независимости направления приложения вертикальной нагрузки на распределение сил сопротивления по боковой поверхности сваи неправомерно. Поэтому табличные значения сил по боковой поверхности предложены для стадии выдергивания сваи из грунта, а не на действие вдавливающих нагрузок на сваи, что согласуется с опытными данными. Именно поэтому при испытаниях натуральных свай на вдавливающие нагрузки нормы [4] назначают опытную нагрузку, в 1,5 раза превышающую расчетную величину F_d равную

$$P_{\text{од}} = 1,5 \cdot F_d. \quad (3)$$

Факт увеличения сил сопротивления по боковой поверхности отмечен при погружении колодцев по сравнению со всплытием последних также в 1,5 раза, что связано с догрузением призмы обрушения при погружении колодца и разгрузением призмы при его всплытии [8].

Выводы. Результаты полевых исследований несущей способности буроинъекционных свай при действии выдергивающих и вдавливающих нагрузок позволяют сделать следующие выводы:

1. Направление приложения вертикальной нагрузки на буровые сваи при определении их несущей способности имеет принципиальное значение на распределение сил сопротивления по боковой поверхности. Положение ДБН [1] о равенности этих сил при выдергивающих и вдавливающих нагрузках неправомерно.

2. Полевой эксперимент показал, что нормативные табличные значения сил сопротивления по боковой поверхности предложены для случая выдергивающих нагрузок на сваи, а для случая вдавливающих (сжимающих) нагрузок эти силы могут превышать эти значения до 1,5 раз.

Литература

1. ДБН В.2.1-10-2009. Зміна №1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
2. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980. – 151 с.
3. Полищук, В.А. Проектирование и применение свай / В.А. Полищук, И.П. Шаповал. – Киев: Издательство «Будівельник», 1967. – 138 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-1-95. Грунти. Методи польових випробувань палями. – Київ: Укрархбудінформ, 1997. – 58 с.
5. Рекомендации по применению буринъекционных свай/ НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. М. 2005. – 53 с.
6. Лучковский, И.Я. Отчет о НИР: «Дослідження несучої здатності чотирьох бурин'єкційних паль вертикальним статичним навантаженням на ділянці будівництва стадіону «Металіст» в м. Харкові» / Лучковский И.Я., Самородов А.В. – Харьков: ХГТУСА, 2008. – 42 с.
7. Самородов, А.В. Несущая способность буринъекционных свай в сложных инженерно-геологических условиях г. Харькова / Самородов А.В., Лучковский И.Я., Чепурной Д.А., Дукер А.И., Шевякин Н.Г., Семенов Ю.Н., Герасимович Е.Н. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБ, 2008. – №49. – С. 189 – 196.
8. Никитенко, В.И. Модельные исследования сил трения грунта по ограждению вертикальных стволов / Никитенко В.И., Лучковский И.Я., Самородов А.В. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА., 2004. – №26. – С. 107–120.
9. ASTM-D1143, "Piles Under Static Axial Compressive Load, Standard Test Method For", P.11.
10. Branko Glisic. Pile Monitoring with Fiber Optic Sensors During Axial Compression, Pullout, and Flexure Tests/ Daniele Inaudi, and Claire Nan. Transportation Research Record 1808, Paper 2007. – №2. – P.11 – 20.

Надійшла до редакції 19.09.2012
© А.В. Самородов, С.В. Табачников