

А.В. САМОРОДОВ, канд. техн. наук, доцент, Харківський національний університет будівництва та архітектури

С.В. ТАБАЧНИКОВ, канд. техн. наук, асистент, Харківський національний університет міського господарства імені А.Н.Бекетова

В.Е. НАЙДІЄНОВА, аспірант, Харківський національний університет міського господарства імені А.Н.Бекетова

Д.Л. МУЛЯР, аспірант, Харківський національний університет будівництва та архітектури

УДК 624.154

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ТРЕНИЯ ГРУНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НАТУРНЫХ СВАЙ

Ключевые слова: свая, боковая поверхность, просадка грунта, нагрузка, силы отрицательного трения, методика.

У статті пропонується удосконалена методика визначення сил негативного тертя ґрунту при призначенні розрахункового навантаження на палі за результатами польових випробувань на підставі проведених експериментальних та теоретичних досліджень сил опору ґрунту по бічній поверхні палі при стискуючих та висмикувальних навантаженнях, а також у стані спокою.

В статье предлагается усовершенствованная методика определения сил отрицательного трения грунта при назначении расчетной нагрузки на сваи по результатам полевых испытаний на основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований сил сопротивления грунта по боковой поверхности свай при вдавливающих и выдергивающих нагрузках, а также в состоянии покоя.

In the article it is proposed the improved method of determining the forces of negative friction of soil according to the design loads for piles by field test results based on the performed experimental and theoretical studies of the resistance forces of the soil on the lateral surface swi

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. При проектировании зданий и сооружений на свайных фундаментах силы отрицательного (негативного) трения следует учитывать в случаях, когда условная скорость деформации грунта около свайного массива может превышать скорость осадок свайного фундамента, что проявляется при:

- наличии в основании структурно-неустойчивых грунтов;
- возведении свайных фундаментов на насыпях значительной мощности при естественной консолидации грунтовой толщи;
- применении плитно-свайных фундаментов или нагружении поверхности вблизи свайного фундамента значительными нагрузками от рядом возводимых зданий на фундаментах мелкого заложения, планировки территории подсыпкой, складирования материалов, установки оборудования и т.д.;
- уплотнении грунтов от динамических воздействий и увеличения эффективных напряжений

при понижении уровня грунтовых вод;

- оттаивании мерзлых грунтов.

Поэтому, силы отрицательных трения грунта на сваи, вызванные, в основном, или дополнительным нагружением поверхности, или наличием в основании грунтов со специфическими свойствами существенно влияет на принятие конструктивных решений свайных фундаментов, а значит, исследования в этой области являются актуальными.

Анализ последних исследований и публикаций.

Вопросами развития сил отрицательного трения в свайном фундаменте занимались отечественные и зарубежные исследователи: Брома Бенг Б., Фелениус Н., Кравфорд К., Эндо М., Бьеррум Л., Йохансен И., Керизель Ж., Далматов Б.И., Лапшин Ф.К., Россихин Ю.В., Григорян А.А. [1], Зарецкий Ю.К., Морозов В.Н. и другие.

Кроме теоретических, представляют интерес исследования сил отрицательного трения с помощью полевых методов, которые являются наиболее достоверными. Здесь можно отметить использование тензосвай [6], а также нормативные и запатентованные методы и способы определения сил трения по боковой поверхности фундаментов и свай [2, 7, 8]. Однако, предлагаемые полевые испытания с использованием рассмотренных методов и способов, либо являются трудоемкими при применении тензосвай, либо силы отрицательного трения определяются на основании испытаний свай на действие вдавливающих и выдергивающих нагрузок, при этом принимается равенство сил сопротивления грунта по боковой поверхности свай.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья. Существуют нормы [2–5] и другие рекомендательные документы [9], регламентирующие выявление и расчет сил отрицательного трения при определении несущей способности свай при их испытании вдавливающими и выдергивающими нагрузками. Такое положение неверно, т.к. развитие сил отрицательного трения по боковой поверхности свай связано с деформациями S_{sl} грунтового массива, при которых изменением напряженного состояния основания можно пренебречь, а в случае приложения к свае опытной вертикальной нагрузки существенно изменяется напряженное состояние околоосвайного грунтового основания. Последнее указывает на то, что нормативная методика [4] назначения расчетной нагрузки на сваю в просадочных грунтах не учитывает особенностей формирования именно сил отрицательного трения грунта, поэтому является некорректной.

Цель работы. Усовершенствование методики определения сил отрицательного трения грунта при назначении расчетной нагрузки на сваю по результатам полевых испытаний.

Изложение основного материала. Запишем нормативную формулу [4] для определения расчетной нагрузки на сваю в просадочных грунтах по результатам полевых испытаний:

$$N \leq \frac{F_d}{\gamma_k} - \gamma_c \cdot P_n, \tag{1}$$

где: F_d – несущая способность свай, кН, принимаемая как разность между несущей способностью F_d^L сваи длиной L на вдавливающую нагрузку и несущей способностью $F_{du}^{h_{sl}}$ сваи длиной h_{sl} на выдергивающую нагрузку; h_{sl} – расчетная глубина подошвы просадочной толщи, м, в пределах которой проявляется просадка грунта от собственного веса; P_n – догружающая сила трения, кН, принимаемая равной предельному сопротивлению сваи длиной h_{sl} , т.е. $P_n = F_{du}^{h_{sl}}$; γ_k и γ_c – нормативные коэффициенты.

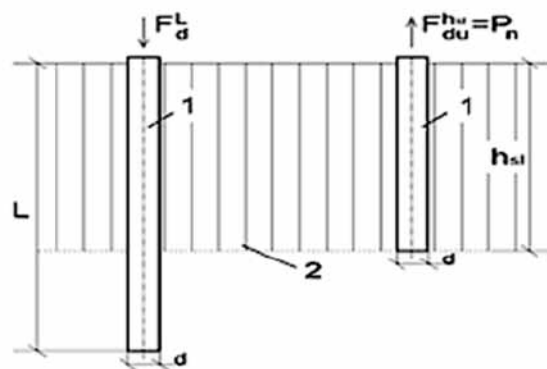


Рис 1. Схема испытаний свай в просадочных грунтах: 1–опытная свая; 2–просадочная толща грунта.

На рис. 1 можно наглядно представить нормативную схему испытания свай в просадочных грунтах, а формулу (1) записать в виде:

$$N \leq \frac{F_d^L - F_{du}^{h_{sl}}}{\gamma_k} - \gamma_c \cdot F_{du}^{h_{sl}}. \tag{2}$$

На схеме испытаний рис. 1 вертикальные нагрузки условно обозначены как предельные несущие способности: F_d^L – при вдавливании сваи длиной L и $F_{du}^{h_{sl}}$ – при выдергивании сваи длиной h_{sl} .

Наши лабораторные и полевые экспериментальные исследования [11, 12, 14] позволили выделить силы сопротивления грунта по боковой поверхности сваи для 3-х случаев:

- $F_{d,f}$ – при действии на сваю вдавливающей нагрузки, кН;
- $F_{du,f}$ – при действии на сваю выдергивающей нагрузки, кН;
- T_0 – при отсутствии действия на сваю вертикальной нагрузки, кН, т.е. силы сопротивления сформированы в зависимости от напряженного состояния околоосвайного грунтового массива за счет его собственного веса – условно в состоянии покоя.

Соотношение этих величин представлено на графиках рис. 2, 3 в зависимости от соотношения длины сваи $L(h_{sl})$ к ее диаметру d .

Поэтому, в формуле (2) первый член будет иметь реально завышенное значение, т.к. при $F_{d,f} > F_{du,f}$ отнимаются силы трения при выдергивании $F_{du,f}$ от сил трения при вдавливании $F_{d,f}$, и второй член также

будет завышен, т.к. при деформациях околосвайного массива грунта S_{sl} не могут быть реализованы силы отрицательного трения больше, чем при формировании его напряженно-состояния от собственного веса: T_0 , т.е. $T_0 < F_{du,f}$

Поэтому, с целью усовершенствования нормативной методики в формулу определения расчетной нагрузки на сваи необходимо внести соответствующие коэффициенты перехода и записать в следующем виде:

$$N \leq \frac{F_d^L - k_f \cdot F_{du}^{hu}}{\gamma_k} - \gamma_c \cdot \frac{1}{k_0} \cdot F_{du}^{hu}, \quad (3)$$

где: k_f – коэффициент, учитывающий переход к силам сопротивления по боковой поверхности сваи при вдавли-

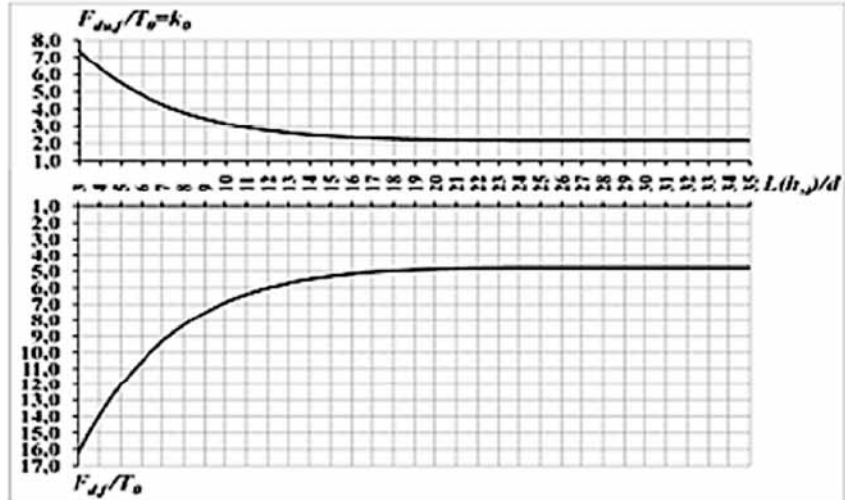


Рис 2. Зависимости относительных сил сопротивления по боковой поверхности свай при действии вдавливающих $F_{d,f}/T_0$ и выдергивающих нагрузок $F_{du,f}/T_0$ от различного соотношения $L(h_{sl})/d$.

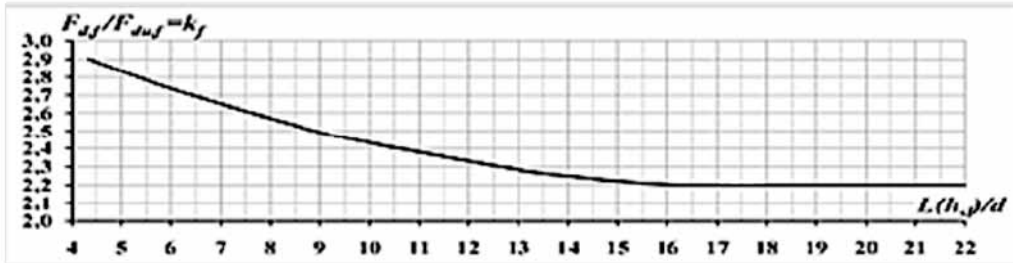


Рис 3. График зависимости $F_{d,f}/F_{du,f}$ от различного соотношения $L(h_{sl})/d$.

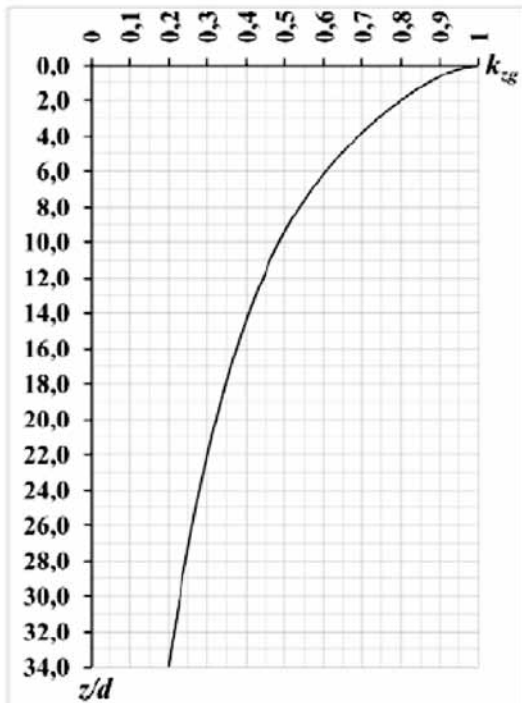


Рис 3. Зависимость коэффициента затухания напряжений k_{zg} от относительной глубины z/d .

ливанию $F_d^{h_{sl}}$ (см. рис. 3); k_0 – коэффициент, учитывающий переход к силам сопротивления по боковой поверхности сваи в состоянии покоя T_0 (см. рис. 2), т.е. к силам отрицательного трения при деформациях s_{sl} грунтового массива.

До проведения статических испытаний свай в нормативной формуле (1) [4] догружающую силу трения P_n следует принять равной T_0 и определять в соответствии с предложенной нами зависимостью [12] для сил сопротивления по боковой поверхности сваи в состоянии покоя:

$$\tau_i = f_{0,i} = \sigma_{zg,i} \cdot k_{zg,i} \cdot \lambda_{0,i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{1,i} + k_c \cdot c_{1,i}, \quad (4)$$

где: $f_{0,i}$ – расчётное сопротивление i -го слоя грунта по боковой поверхности ствола сваи в состоянии покоя, кН/м²;

$k_{zg,i}$ – коэффициент затухания напряжений от собственного веса грунта в околосвайном массиве в состоянии покоя (рис. 4);

$\lambda_{0,i} = \frac{\nu_i}{1-\nu_i}$ – коэффициент бокового давления грунта в

середине i -го слоя;

ν_i – коэффициент Пуассона грунта в середине i -го слоя;

k_c – коэффициент, учитывающий уменьшение сцепления грунта в результате сдвига и назначаемый в зависимости от консистенции пылевато-глинистого грунта [13]: $k_c=0,22$ – твердая; $k_c=0,25$ – полутвердая; $k_c=0,29$ – тугопластичная; $k_c=0,65$ – мягкопластичная; остальные обозначения приняты в соответствии с ДБН [4].

ВЫВОДЫ.

1. Для выявления сил отрицательного трения грунта применяют методы статического испытания свай при действии вдавливающих и выдергивающих нагрузок, принимая равными силы сопротивления по боковой поверхности свай вне зависимости от направления вертикальной нагрузки, что является неправомерным на основании анализа последних исследований [11, 12, 14].
2. Сила отрицательного трения или догружающая сила R_p на сваю развивается за счет дополнительных деформаций околосвайного массива и не может быть больше силы сопротивления по боковой поверхности свай

- в состоянии покоя T_0 , которое формируется за счет собственного веса грунтового основания. Подобное утверждение согласуется с выводом в одной из пионерных работ А.А. Григорян [1] в этом направлении.
3. На наш взгляд, нормативная методика [4] назначения расчетной нагрузки на сваи, кроме вышеупомянутых неточностей, имеет принципиальный недостаток, связанный с введением в последние нормы СНиП и ДБН по свайным фундаментам коэффициента условий работы γ_c , который учитывает просадку грунта $S_{ср}$, что не имеет физического смысла при его влиянии на величину предельного сопротивления свай при выдергивании R_p и противоречит обоснованной методике Руководства [10].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорян А.А., Григорян Р.Г. Взаимодействие свай с грунтом при осадке от действия собственного веса толщи / А.А. Григорян, Р.Г. Григорян // Свайные фундаменты: труды НИИОСП. – М.: Стройиздат, 1975. – Вып.65. – С. 45–55.
2. Грунты. Методы полевых випробувань палями: ДСТУ Б В.2.1-1-95(ГОСТ 5686-94). – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 57 с.
3. Основи та фундаменти споруд ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
4. Основи та фундаменти споруд. Зміна №1: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
5. Палі. Визначення несучої здатності за результатами полевих випробувань: ДСТУ Б В.2.1-27:2010. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с.
6. Пат. АС 945275, СССР, E02D 1/00, E02 D 33/00 Инвентарная испытательная свая / Авторы И.П. Бойко, А.А.Кучерук, патентообладатель Киевский ордена Красного знамени инженерно-строительный институт. – № 2920565/29-33; заяв. 30.04.1980; опубл. 23.07.1982, Бюл.№27. – 4 с.
7. Пат. SU 1190259 АСССР, G 01 N 33/24 Способ определения сил отрицательного трения грунта на поверхности фундамента / Автор А.М. Пчелинцев, патентообладатель Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений им. Н.М.Герсеванова. – №3726952/29-33; заяв. 17.04.1984; опубл. 07.11.1985, Бюл. №41. – 2 с.
8. Пат. SU 1409730 А1 СССР, 5 D 4 E 02 D 33/00 Способ статических испытаний свай в просадочных грунтах / Авторы В.С.Сабуров, ISSN 0475-1132. И.Г.Ладыженский, патентообладатель Конструкторское бюро по железобетону им. А.А.Якушева и Государственный институт проектирования городов. – № 3896280/29-33; заяв. 14.05.1985; опубл. 15.07.1988, Бюл.№26. – 3 с.
9. Рекомендации по инженерным изысканиям для проектирования и устройства свайных фундаментов. – М.: ПНИИИС Стройиздат, 1983. – 23 с.
10. Руководство по проектированию свайных фундаментов. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР Стройиздат, 1980. – 151 с.
11. Самородов А.В. Способ определения сил сопротивления песчаного грунта по боковой поверхности модельной сваи в состоянии покоя / А.В. Самородов, С.В. Табачников // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – Вип.5(79). – С. 91–95.
12. Самородов А.В. Метод определения сил сопротивления по боковой поверхности свай с учетом направления вертикальной нагрузки / А.В. Самородов, С.В. Табачников / Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ, 2014. – Вып.67. – С. 124–130.
13. Сооружения промышленных предприятий: СНиП 2.09.03-85.– [Действующий от 1987-01-01]. – Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 77 с.
14. Табачников С.В. Экспериментальные исследования сил сопротивления по боковой поверхности моделей свай / С.В. Табачников // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип.1(43). – С. 222–230.