

АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ТРЕНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПО БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ СВАЙ

Найдёнова В.Е.

Харьковский национальный университет городского
хозяйства имени А.Н. Бекетова
г. Харьков, Украина

АНОТАЦІЯ: В статті наводиться аналіз методик визначення сил негативного тертя, що діють по бічній поверхні пиль, при призначенні їх несучої здатності.

АННОТАЦИЯ: В статье приводится анализ методик определения сил отрицательного трения, действующих по боковой поверхности свай, при назначении их несущей способности.

ABSTRACT: In the article it is provided an analysis of methods for detection of negative friction forces acting on the lateral surface of the pile, with the appointment of their load-bearing capacity.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: просадка грунта, несущая способность свай, боковая поверхность, силы отрицательного трения, методика.

ВВЕДЕНИЕ

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 [4] 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 отрицательного трения грунта на сваи, вызванные, в основном, или дополнительным нагружением поверхности, или наличием в основании грунтов со специфическими свойствами, существенно влияют на принятие конструктивных решений свайных фундаментов, следовательно, исследования в этой области являются актуальными.

Вопросы развития сил отрицательного трения в свайном фундаменте изучали 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., Зарецкий Ю.К., Морозов В.Н. и другие.

Кроме теоретических, представляют интерес опытные исследования сил отрицательного трения с помощью полевых методов, которые являются наиболее достоверными. Здесь можно отметить использование тензосвай, а также нормативные и запатентованные методы и способы определения сил трения по боковой поверхности фундаментов и свай [5]. 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 сваи.

Действующие нормы [1, 8], «Руководства» и рекомендации [2, 3], регламентируют 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 [5].

Цель работы - выполнить анализ методик определения сил отрицательного трения, действующих по боковой поверхности свай.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим известные методики определения сил отрицательного трения (догружающих сил), действующих по боковой поверхности свай.

Методика «ДБНВ.2.1–10–2009. Зміна №1» [1].

Догружающая сила трения определяется по формуле:

$$P_n = u \sum_0^{h_{sl}} \tau_i \cdot h_i, \quad (1)$$

где u – периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

τ_i – силы отрицательного трения i -го слоя грунта по боковой поверхности сваи, принимаемые равными расчётному сопротивлению грунта, кПа, а именно:

$$\tau_i = \xi \sigma_{zg,i} \operatorname{tg} \varphi_{l,i} + c_{l,i}, \quad (2)$$

где h_{sl} – расчетная глубина, до которой выполняется суммирование сил бокового трения просадочных слоев грунта, м;

h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

ξ – коэффициент бокового давления, который принимают равным 0,7;

$\sigma_{zg,i}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта в середине i -го слоя грунта, кН/м²;

$\varphi_{l,i}$ – угол внутреннего трения грунта, град;

$c_{l,i}$ – сцепление грунта i -го слоя, кПа.

При глубине $6\text{ м} < h < h_{sl}$ значения τ_i принимается постоянным, которое равняется значению τ_i на глубине 6 м. Эюра распределения сил отрицательного трения, действующих по боковой поверхности свай приведена на рис. 1.

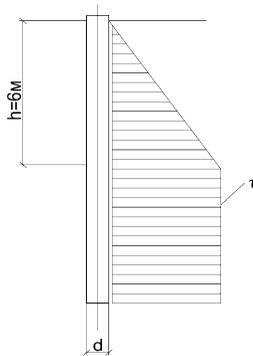


Рис. 1. Эюра распределения сил отрицательного трения τ_i согласно «ДБН»

Методика СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты [8].

По данной методике «СП» догружающую силу трения P_n , а также силы отрицательного трения i -го слоя грунта по боковой поверхности сваи находят по приведенным выше формулам (1 – 2). Отличительная особенность данного метода состоит в определении коэффициента – ξ . Если по методике «ДБН» значение ξ принимается постоянным $\xi=0,7$, то по методике «СП» определяют в соответствии с формулой:

$$\xi = \left(\frac{n_{\text{макс}}}{n_i} \right) \left(1 + \frac{H_i}{H_0} \right)^{-0.5}, \quad (3)$$

где ξ – экспериментальный параметр, характеризующий боковое давление на контакте сваи с грунтом;

$n_{\text{макс}}$ – наибольшее значение пористости просадочных грунтов, принимаемое равным 0,55;

n_i – пористость i -го слоя грунта, в долях единицы;

H_i – глубина расположения середины расчетного i -го слоя грунта, м;

$H_0 = 1$ м;

Остальные обозначения такие же как в формулах (1 – 2).

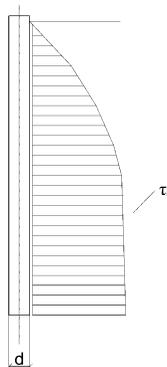


Рис. 2. Эпюра распределения сил отрицательного трения τ_i согласно «СП»

Методика «Руководства» [3]

Величины силы негативного трения по боковой поверхности свай при просадке грунтов под собственным весом толщи, получены по

результатам обработки данных натуральных испытаний свай и определяются по формуле:

$$P_n = a(mu \sum_0^{h_{sl}} \tau_i \cdot h_i), \quad (4)$$

где u – то же, что и в формуле (1);

a – коэффициент, учитывающий влияние негативного трения, принимаемый $a = 1,4$;

m – коэффициент условий работы, принимаемый $m = 1$;

τ_i – расчётное сопротивление i -го слоя грунта, определяемое в соответствии с указаниями п. 9.6 [3];

h_{sl} – расчетная глубина, до которой производится суммирование сил бокового трения проседающих слоев грунта, принимаемая равной глубине, где величина просадки грунта от действия собственного веса равна предельно допускаемой осадке для проектирования здания или сооружения, указанной в задании на проектирование.

Остальные обозначения аналогичны формуле (1).

Методика Харьковского национального университета строительства и архитектуры (ХНУСА)

В методике ХНУСА к.т.н., доц. А.В. Самородовым на основании многочисленных исследований работы боковой поверхности свай на вдавливающие, выдергивающие и моментные нагрузки в грунтовом массиве [5 - 7], предлагается догружающую силу трения P_n принимать равной силе сопротивления по боковой поверхности сваи в состоянии покоя T_0 и определять эту величину в соответствии с предложенной в работе [5] зависимостью:

$$P_n = T_0 = \sum_0^{h_i} f_{0,i} \cdot h_i, \quad (5)$$

где

$$f_{0,i} = \sigma_{zg,i} \cdot k_{zg,i} \cdot \lambda_{0,i} \cdot tg \varphi_{1,i} + k_c \cdot c_{1,i}, \quad (6)$$

$f_{0,i}$ – 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. 3);

$\lambda_{0,i} = \frac{\nu_i}{1 - \nu_i}$ – 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 пылеато-глинистого грунта [10]: $k_c=0,22$ – твердая; $k_c=0,25$ – полутвердая; $k_c=0,29$ – тугопластичная; $k_c=0,65$ – мягкопластичная.

Остальные обозначения аналогичны формуле (1).

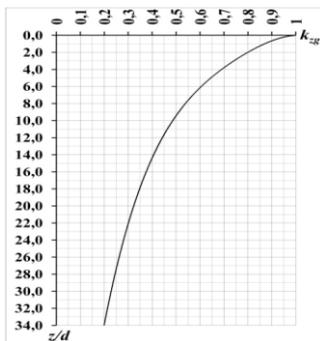


Рис. 3. Зависимость коэффициента затухания напряжений k_{zg} от относительной глубины z/d

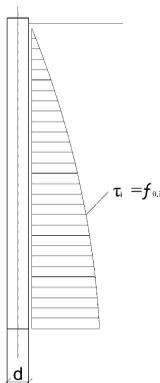


Рис. 4. Эпюра распределения сил отрицательного трения $\tau_i = f_{0,i}$ согласно методики «ХНУСА»

Для сравнения значений сил отрицательного трения определенных по различным методикам (рис. 7), в качестве исходных данных приняты

инженерно-геологические условия и геометрические параметры испытанной сваи согласно приведенного примера в «Руководстве» [3].



Рис. 5. Расчётная схема взаимодействия сваи с грунтовым массивом

Расчётная схема буронабивной сваи, устраиваемой сухим способом в просадочном грунте с опиранием на твердый лессовидный суглинок представлена на рис. 5. Грунтовые условия II типа по просадочности. Расчетная глубина h_{sl} определяется по графику зависимости суммарной величины просадки S_{sl} от глубины расположения i -го слоя просадочного грунта h (рис. 6).

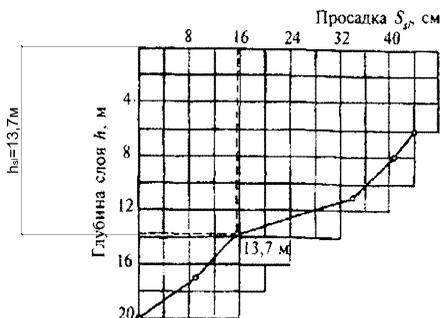


Рис. 6. График зависимости $S_{sl} = f(h)$

При этом величина $h_{sl} = 13,7 \text{ м}$ принята для всех методик расчета.

Догружающая сила трения P_n по разным методикам равна:

- по методике «ДБН»:

$$P_n = 3,14 \cdot (2 \cdot 2,58 + 2 \cdot 3,35 + 2 \cdot 4,12 + 2 \cdot 4,88 + 2 \cdot 5,65 + 2 \cdot 6,42 + 1,7 \cdot 7,2) = 207,99(\text{тс}) = 2079,9(\text{кН})$$

- по методике «СП»:

$$P_n = 3,14 \cdot [(2 \cdot 2,62 + 2 \cdot 3,08 + 2 \cdot 3,41 + 2 \cdot 3,67 + 2 \cdot 3,88 + 2 \cdot 4,07 + (1,7 \cdot 4,312))] = 153,86(\text{тс}) = 1538,6(\text{кН})$$

- по методике «Руководства»:

$$P_n = 1,4 \cdot 3,14 \cdot [(0,5 \cdot 0,5 \cdot 1,79 \cdot 6 \cdot 0,306 + 2,2) \cdot 6 + (0,5 \cdot 1,79 \cdot 6 \cdot 0,306 + 2,2) \cdot 7,7] = 209,78(\text{тс}) = 2097,8(\text{кН})$$

- по методике «ХНУСА»:

$$P_n = T_0 = 3,14 \cdot [2 \cdot (1,69 + 2,09 + 2,38 + 2,61 + 2,79 + 2,93) + (1,7 \cdot 2,95)] = 106,76(\text{тс}) = 1067,6(\text{кН})$$

На диаграмме (рис. 7) приведены результаты определения сил отрицательного трения, действующих по боковой поверхности свай.

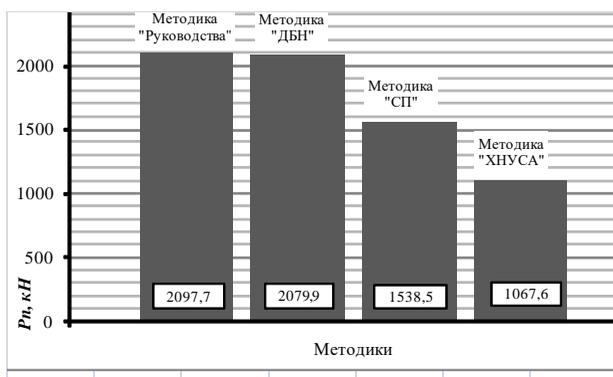


Рис. 7. Значения сил отрицательного трения, действующих по боковой поверхности свай, определенные по различным методикам

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены существующие и предлагаемые методики определения сил отрицательного трения грунта (догружающих сил) P_n по боковой поверхности свай, что дает основание делать вывод о различном характере принимаемых в расчетах, эпюр распределения догружающих сил τ_i по длине свай.

2. На конкретном примере при прорезании сваей просадочного слоя грунта показано значительное различие величин догружающих сил P_n

при применении различных методик: величина P_n , полученная по методике «ХНУСА», в два раза меньше, чем по методике «Руководства» и в полтора раза меньше российской методики «СП».

3. Полученные численные результаты позволяют сделать вывод о том, что минимальное теоретическое значение величины догружающей силы P_n на сваю дает методика «ХНУСА», что требует экспериментального обоснования, которое позволит увеличить несущую способность свай на вдавливающие нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти споруд. Зміна №1: ДБН В.2.1–10–2009. – [Чинний від 2011–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
2. Рекомендации по инженерным изысканиям для проектирования и устройства свайных фундаментов. – М.: ПНИИИС Стройиздат, 1983. – 23 с.
3. Руководство по проектированию свайных фундаментов. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР Стройиздат, 1980. – 151 с.
4. Самородов А.В. Новая конструкция плитно-свайного фундамента / А.В. Самородов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. 1 (214). – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2016. – С. 58 – 65.
5. Усовершенствование методики определения сил отрицательного трения грунта по результатам испытания натуральных свай / [А.В. Самородов, С.В. Табачников, В.Е. Найденова, Д.Л. Муляр] // Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 37 / За загальною редакцією І.П. Бойка. – К.: КНУБА, 2015. – С. 170 – 178.
6. 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.
7. Самородов А.В. Новый метод определения сил сопротивления по боковой поверхности свай, учитывающий направление вертикальной нагрузки / А.В. Самородов, С.В. Табачников // Основания, фундаменты и механика грунтов. – Вып. 6. – Москва: ОФМГ, 2015. – С. 12 – 15.
8. Свайные фундаменты: СП 24.13330.2011. – [Действующий от 2011–05–20]. – М.: Министерство регионального развития РФ, 2011. – 83 с.
9. Свайные фундаменты. Нормы проектирования: СНиП II-17-77. – М.: Стройиздат, 1978. – 45 с.

10. Сооружения промышленных предприятий: СНиП 2.09.03-85.– [Действующий от 1987–01–01]. – Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 77 с.

REFERENCES

1. The Basis And The Foundation Of Buildings. Zmina №1: DBN V. 2.1–10–2009. – [of 2011–07–01]. – K.: Minregionbud Ukraine, 2011. – 55 p.
2. Recommendations To Engineering Survey For The Design And Construction Of Pile Foundations. – M.: PNIIS Stroyizdat, 1983. – 23 p.
3. Guidelines For The Design Of Pile Foundations. – M.: NIIOSP by N.M. Gersevanov USSR State Committee Stroyizdat, 1980. – 151 p.
4. The New Of A Late – Pile Foundation. A.V. Samorodov. News Pridniprovsk National Academy of Building and Architecture. – Edition 1 (214). – Dnipropetrovsk: PDABA, 2016. – P. 58 – 65.
5. Improving The Methods For Determining Soil Negative Friction Forces On The Results Of Field Testing Piles. Samorodov A.V., Tabachnikov S.V., Naydenova V.E., Mulyar D.L. Basis and foundation: Mizhvidomchy naukovo-tehnichny zbirnik. – Edition 37 / By general edition Boyka I.P. – K.: KNUBA 2015 – P. 170 – 178.
6. The Method For Determining The Resistance Forces Of The Sandy Soil On The Lateral Surface Of The Model Piles At Rest. Samorodov A.V., Tabachnikov S.V. The Scientific Bulletin of Building. – Kharkiv: HNUBA, HOTV OMB, 2015. – Edition 5 (79). – P. 91 – 95.
7. A New Method For Determining The Resistance Forces On The Lateral Surface Of The Pile, Taking Into Account The Direction Of The Vertical Load. Samorodov A.V., Tabachnikov S.V. Grounds, Foundations And Soil Mechanics. – Edition 6. – Moscow: OFMG, 2015. – P. 12 – 15.
8. Pile Foundations: SP 24.13330.2011. – [Effective on 2011–05–20]. – M: The Ministry of Regional Development of the Russian Federation, 2011. – 83 p.
9. Pile Foundations. Design Standards: SNIP II-17-77. – M.: Stroyizdat, 1978. – 45 p.
10. Buildings Of Industry Facilities: SNIP 2.09.03-85. – [Effective on 1987–01–01]. – Gosstroy of Russia. – M.: FSUE LAC, 2006. – 77 p.

Статья поступила в редакцию 12.07.2016 г.