

DOI: 10.12737/22083

Калачук Т.Г., канд. техн. наук, доц.,  
 Затолокина Н.М., канд. геог. наук, доц.,  
 Былин И.П., ст. препод.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПРОСЛОЕК СЛАБОГО ГРУНТА, ПРОРЕЗАЕМЫХ СВАЕЙ, НА ЕЕ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

gkadastr@mail.ru

Статья посвящена проблемам проектирования свай, прорезающих слой слабого грунта. При наличии в верхней части основания площадки строительства слабых грунтов часто возникает необходимость в передаче нагрузки от сооружения на более плотные грунты, залегающие на довольно значительной глубине от поверхности. В таких случаях, как правило, устраивают фундаменты из свай трения. При проектировании необходимо определить оптимальное заглубление свай ниже слабого грунта, которое зависит от мощности, его сжимаемости. При этом слабые грунты, прорезаемые сваями, могут оказывать значительное влияние на работу острия свай. В статье обоснована необходимость учета влияния прослоек слабого грунта в основании на несущую способность свай, а также изложена методика ее прогнозирования.

**Ключевые слова:** грунт, осадка, деформация, свая, несущая способность.

При проектировании свай, прорезающей слой слабого грунта, возникают вопросы о снижении её несущей способности по боковой поверхности выше слабого слоя и о сопротивлении острия такой сваи при работе его в грунте, подстилающем слабый. Слабые прослойки могут быть представлены илами, торфами и глинистыми грунтами с  $I_L > 1$ . Влияние слабой прослойки на сопротивление боковой поверхности сваи впервые рассмотрены в работе Б.И. Далматова и Ф.К. Лапшина [4].

Пусть к свае, погруженной в грунт и прорезающей сильно сжимаемую прослойку (рис.1), после «отдыха» приложена нагрузка  $P$ . От действия усилий, передаваемых боковой поверхностью сваи, в грунте возникает напряженное состояние. Так как деформированность слабого грунта (2 на рис. 1) значительно больше деформативности минеральных грунтов 1 и 3, сильно сжимаемый грунт будет испытывать гораздо большие деформации уплотнения  $S_{сж}$ . Деформацию прослойки около ствола сваи можно определить по формуле аналогичной в разделе теории расчета буровых свай.

$$S_{сж} = 0,5d \sum_{i=0}^n \frac{\eta_i}{E_i} \cdot f_i \quad (1)$$

Здесь  $f_i$  – сопротивление грунта по боковой поверхности сваи в каждом из слоев, начиная от поверхности до подошвы слабой прослойки.

Деформация верхнего слоя грунта (1) при этом составит

$$S_0 = 0,5d \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\eta_i}{E_i} \cdot f_i \quad (2)$$

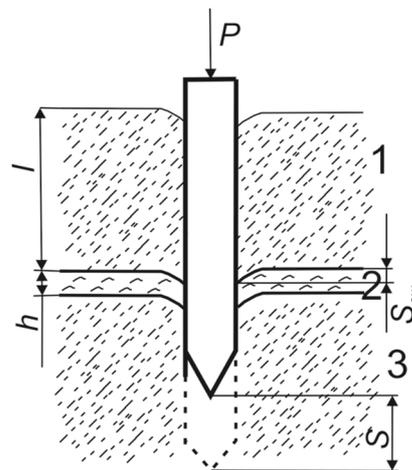


Рис. 1 Схема деформации слабого слоя грунта

Из сопоставления формул (1) и (2) видно, что  $S_{сж}$  всегда будет больше  $S_0$ , так как дополнительно включает деформацию слабой прослойки.

Сопротивление грунта, расположенного выше прослойки, по боковой поверхности сваи может проявиться полностью, если выполняется условие

$$S \geq S_{сж}, \quad (3)$$

где  $S$  – величина вертикального перемещения сваи в рассматриваемом сечении.

Это сопротивление необходимо принимать с понижающим коэффициентом  $K_c$ , если

$$S < S_{сж}, \quad (4)$$

где

$$K_c = \frac{S}{S_{сж}}. \quad (5)$$

Определив первоначально  $S_{сж}$  от сил сопротивления грунта по боковой поверхности сваи  $f_i$ , затем её можно последовательно уточнять, используя формулу (2).

Сопротивление грунта, уменьшенное введением коэффициента  $K_c$ .

Для лучшего использования сопротивления свай их острие необходимо заглублять ниже подошвы сильно сжимаемого слоя. Однако и в этом случае слабые грунты, прорезанные сваями, могут оказывать значительное влияние на работу острия. При проектировании необходимо определять оптимальное заглубление свай ниже слабого грунта, которое зависит от мощности слоя его сжимаемости.

На основе решения осесимметричной задачи теории предельного равновесия можно найти предельное сопротивление грунта нагружению нижнего конца сваи. В предельном состоянии области сдвигов, развивающейся под острием сваи, достигают горизонтальной плоскости, проходящей на его уровне. При дальнейшем увеличении нагрузки на сваю области сдвигов стремится поднять грунт, расположенной над указанной плоскостью. Этому будет оказывать противодействие не только масса грунта, но и его сопротивление сдвигу в результате которого вовлекается в работу окружающий массив. Так как экспериментальных и теоретических данных о законе распределения сил трения для данного случая пока нет и, поскольку не учтено возникающего трения в нашем расчете идет в запас, им можно пренебречь.

Примем, что выпиранию на уровне горизонтальной плоскости, проходящей через острие, противодействует масса слоя грунта высотой от острия сваи до подошвы прослойки, деформативность слабой прослойки и напряжение, создаваемое трением по боковой поверхности сваи. Если все эти усилия способны противостоять сдвиговым напряжениям, возникающим в грунте, то можно считать, что влияние прослойки на работу острия существенно не скажется.

Объемная масса прослойки торфа или ила во взвешенном состоянии практически равна нулю и, следовательно, она не оказывает пригружающего действия на поверхность минерального грунта. Природное давление грунта, расположенного под прослойкой, также существенно не влияет на работу острия, т.к. прослойка, отделяющая этот грунт от нижнего минерального, в котором находится острие, обладает чрезмерно большой деформативностью.

С некоторым приближением для определения центрально приложенной к подошве сваи предельной нагрузки можно использовать формулу В.Г. Березанцева (1970).

$$F_{d_0} = \frac{\pi d^2}{4} \left( A_K \rho \frac{d}{2} + B_K g_H + C_K c \right), \quad (6)$$

в которой  $d$  – диаметр сваи;  $\rho$  и  $c$  – соответственно плотность и сцепление грунта, в который заглублена свая;  $g_H$  – величина нагрузки, противодействующей при условии предельного равновесия напряжениям от выпора грунта под острием;  $A_K, B_K, C_K$  – коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения грунта (см. табл. 1).

Из (6) найдем

$$g_n = \frac{1}{B_K} \left( \frac{4F_{d_0}}{\pi d^2} - A_K \rho \frac{d}{2} - C_K c \right). \quad (7)$$

Радиус зоны предельного состояния в плоскости, проходящей через острие сваи, определим по формуле

$$\rho_0 = D \frac{d}{2}.$$

Вопрос о вытеснении некоторого объема грунта при погружении острия сваи ниже слабой прослойки должен рассматриваться на основе решения смешанной задачи теории упругости и пластичности. В целях упрощения можно принять, что происходит только деформация слабой прослойки за счет выпирания грунта, в котором расположено острие, и пренебречь уплотнением этого грунта в состоянии предельного равновесия.

Объем грунта, вытесненного при погружении острия на величину  $S_{np}$ , под действием предельной нагрузки будет

$$V_1 = 0,25 \pi d^2 S_{np}. \quad (8)$$

Объем, на который уменьшится слабая прослойка по площади кольца шириной  $\rho$  вокруг сваи, определяем по формуле

$$V_2 = \Delta(\pi \rho_0^2 - 0,25 \pi d^2) = \Delta 0,25 \cdot \pi d^2 (D^2 - 1), \quad (9)$$

Здесь  $\Delta$  – средняя деформация прослойки от работы острия.

Значения  $D$  приводятся в табл. 1. Приравняв объемы  $V_1$  и  $V_2$  из формул (8) и (9), найдем величину  $\Delta$ .

$$\Delta = \frac{S_{np}}{D^{z-1}}. \quad (10)$$

Вертикальные нормальные напряжения, возникающие от сил трения грунта по боковой поверхности сваи, приближенно можно считать распределенными равномерно с величиной ординаты  $P_T$ , найденной на расстоянии  $0,5r$  от ствола (рис. 2).

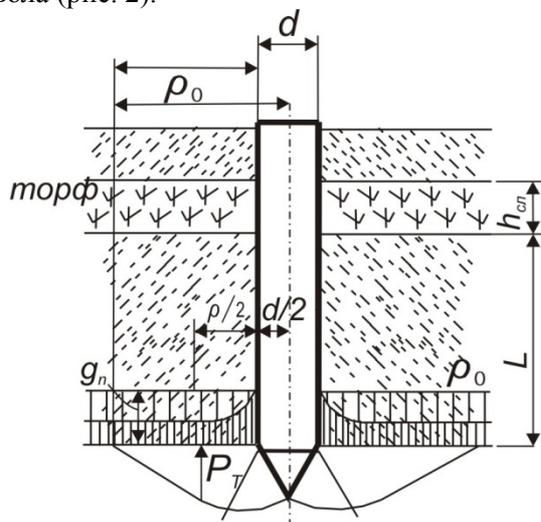


Рис. 2 Схема к учету влияния прослойки на работу острия

Величину  $P_T$  находим из выражения  $-P_z = f_{cp}\beta$ . Причем коэффициент  $\beta$ , входящий в эту формулу и обозначенный в данном расчете  $\beta_K$ , определяется по формуле  $\beta = 1,148 \left(\frac{R}{r}\right)^{-1,237}$ .

Значения этого коэффициента приведены в табл. 1. Выражение для определения заглубления острия ниже слабой прослойки представим в виде

$$L = \frac{1}{\rho} [g_H - P_T - P_{np}] \quad (11)$$

Здесь  $\rho$  – средневзвешенная плотность слоев грунта от подошвы слабой прослойки до острия сваи;  $P_{np}$  – напряжение, необходимое для деформации прослойки грунтом, вытесняемым при работе острия на величину  $\Delta$ .

$$P_{np} = \frac{\Delta E_{cл}}{0,8h_{cл}} \quad (12)$$

Таблица 1

**Значения величин  $A_K, B_K, C_K$  и  $\beta_K$  при различных углах внутреннего трения грунта**

$\phi$	24°	26°	28°	30°	32°	44°	36°	38°	40°	42°
$A_K$	9,9	14,0	18,9	25,3	34,6	48,8	69,2	97,2	142,5	216,0
$B_K$	10,8	14,1	18,6	24,8	32,8	45,5	64,0	87,6	127,0	185,0
$C_K$	24,6	29,9	36,4	45,0	55,4	71,5	93,6	120,0	161,0	219,0
$\beta_K$	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17

Подставляя в выражение (11) значения  $g_H, P_T$  и  $P_{np}$ , получим

$$L = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{1}{\beta_K} \left( \frac{4F_{d_0}}{\pi b^2} - A_K \rho \frac{d}{2} - C_K c \right) - \beta_K f - \frac{S_{np} E_{cл}}{(D^2 - 1) 0,8 h_{cл}} \right] \quad (13)$$

Формулой (13) можно пользоваться также для приближенного определения минимальной величины погружения конца сваи квадратного

сечения ниже подошвы слабой прослойки. В этом случае

$$L = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{1}{\beta_K} \left( \frac{F_{d_0}}{b^2} - H_K \rho \frac{b}{2} - C_K c \right) - \beta_K f - \frac{S_{np} E_{cл}}{(D^2 - 1) 0,8 h_{cл}} \right], \quad (14)$$

Здесь  $b$  – сторона квадратного сечения сваи.

Если принятое заглубление меньше  $L$ , то, подставив в (13) или (14) его фактическую величину, можно решить уравнение относительно  $F_{d_0}$ . Очевидно, что в этом случае значение предельной нагрузки на острие окажется меньше.

Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.

3. ГОСТ 5686-78. Сваи. Методы полевых испытаний. М.: Стройиздат, 1978. 8 с.

4. Далматов Б.И., Лапшин Ф.К. Несущая способность висячих свай в грунтовых условиях Ленинграда // В кн.: Несущая способность свай в слабых грунтах. ЛДНТИ, Л., 1966, ч.2. 160 с.

5. Ивахнюк В.А., Кочерженко В.В., Винаков М.П., Воронцов А.А. Разработка и исследование модульных свай с развитой боковой поверхностью // Тезисы докладов

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Герсеванов Н.М. Определение сопротивления свай. Госстройиздат, 1932.  
 2. Горбунов-Посадов М.И. и др.

Международной конференции «Снижение материалоемкости и повышение эффективности конструктивно-технологических решений, проектирования и расчета зданий и сооружений». Белгород: БелГТАСМ, 1995. Ч. 2. С. 30–31.

6. Исследования свайных фундаментов // Межвузовский сборник научных трудов. Воронеж: ВИСИ, 1984. 199 с.

7. Исследование прогрессивных конструкций свайных фундаментов // Сборник научных трудов. Уфа, 1989. 144 с.

8. Калачук Т.Г., Юрьев А.Г., Карякин В.Ф., Меркулов С.И. Повышение несущей способности опорных конструкций в

дисперсных грунтах. // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 11. С.73–75.

9. Устич А.А., Черныш А.С. Регулирование напряженно-деформированного состояния грунта при устройстве фундаментов мелкого заложения. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №2. С. 20–21.

10. Черныш А.С., Калачук Т.Г., Ашихмин П.С. Исследование работы свай-инъектора в армированном геомассиве. // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2008. № 4/20. С. 49–53.

---

**Kalachuk T.G., Zatulokina N.M., Bylin I.P.**

**TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF SOFT SOIL LAYERS, PENETRATED WITH A PILE, ON ITS LOAD-CARRYING CAPACITY**

*The article deals with the problems of designing piles, penetrating a soft soil layer. When there is soft soil at the upper layer of the construction site basement, it often requires the load transmission from the structure to firmer soils, occurring at great depth from the surface. In this case the foundations are usually made of friction piles. At the projecting stage it's necessary to determine the optimal penetration of piles under the soft soil layers, which depends on the capacity and soil compressibility. At this the soft soils, penetrated with a pile, can affect considerably the pile tips performance. The article substantiates the necessity of taking into account the influence of soft soil layers at the basement on piles' load-carrying capacity and delivers its forecasting technique.*

**Key words:** soil, setting, deformation, pile, load-carrying capacity.

---

**Калачук Татьяна Григорьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Городской кадастр и инженерные изыскания».

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: gkadastr@mail.ru

**Затолокина Наталья Михайловна**, кандидат географических наук, доцент кафедры «Городской кадастр и инженерные изыскания».

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: gkadastr@mail.ru

**Былин Илья Порфирьевич**, старший преподаватель кафедры «Городской кадастр и инженерные изыскания».

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: gkadastr@mail.ru