

Знаменский В.В., Знаменская Е.П., Чунюк Д.Ю., Халиуллина Д.Р. К вопросу об оценке несущей способности забивных железобетонных свай стандартных сечений на горизонтальную нагрузку // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1. – С. 60–69. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.06

Znamenskiy V.V., Znamenskaya E.P., Chunyuk D.Yu., Khaliullina D.R. To the question about the assessment bearing capacity driving reinforced concrete piles of standard cross sections on horizontal load. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2018. No. 1. Pp. 60-69. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.06



ВЕСТНИК ПНИПУ.  
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА  
№ 1, 2018  
PNRPU BULLETIN.  
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE  
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.06

УДК 624.154.1:692/51

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАБИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ СТАНДАРТНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

В.В. Знаменский<sup>1</sup>, Е.П. Знаменская<sup>1</sup>, Д.Ю. Чунюк<sup>1</sup>, Д.Р. Халиуллина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

<sup>2</sup>АО «Хилти Дистрибьюшн Лтд», Москва, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 25 августа 2017  
Принята: 21 декабря 2017  
Опубликована: 30 марта 2018

#### Ключевые слова:

забивные сваи, несущая способность, горизонтальная нагрузка, свайные фундаменты, методы оценки несущей способности

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросу оценки несущей способности на горизонтальную нагрузку железобетонных свай заводского изготовления наиболее распространенных типовых сечений от 0,25×0,25 м до 0,40×0,40 м. Приведена общая классификация методов расчета свай на горизонтальную нагрузку и их краткая оценка. Подробно рассмотрен вопрос о выборе расчетной схемы для расчета свай на горизонтальную нагрузку математическими методами. Расчет по нескольким наиболее распространенным методикам показателей жесткости свай, определяющих схему ее деформирования в грунте и выбор расчетного метода, показана невозможность рассмотрения свай указанного типа как жесткого стержня, поворачивающегося в грунте без изгиба. Для подтверждения этого вывода приведены результаты опытных данных, полученных при испытаниях горизонтальной нагрузкой свай со свободной головой в различных грунтовых условиях, которые показали, что независимо от грунтовых условий сваи рассматриваемого типа теряют несущую способность за счет излома (по материалу) при горизонтальном смещении на уровне поверхности грунта порядка 10–15 мм. Приведена полученная на основе анализа расчетных и экспериментальных данных таблица, по которой предварительная оценка несущей способности железобетонных свай заводского изготовления стандартных сечений со свободной головой может быть выполнена без сложных расчетов при известном коэффициенте пропорциональности  $K$ , значения которого приведены в табл. В.1 Приложения В СП 24.13330.2011. Наряду с этим даны рекомендации по учету при оценке несущей способности свай, работающей в составе фундамента, фактора защемления ее головы в ростверк и взаимовлияния свай через грунт.

© ПНИПУ

© Знаменский Владимир Валерианович – доктор технических наук, профессор, e-mail: geosts@yandex.ru.  
Знаменская Елена Павловна – кандидат технических наук, доцент, geosts@yandex.ru  
Чунюк Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: chunyuk@mail.ru.  
Халиуллина Дина Рашитовна – инженер, e-mail: nely-khaliullin@yandex.ru.

Vladimir V. Znamenskiy – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: geosts@yandex.ru.  
Elena P. Znamenskaya – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: geosts@yandex.ru.  
Dmitry Yu. Chunyuk – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: chunyuk@mail.ru.  
Dina R. Khaliullina – Engineer, e-mail: nely-khaliullin@yandex.ru.

## TO THE QUESTION ABOUT THE ASSESSMENT BEARING CAPACITY DRIVING REINFORCED CONCRETE PILES OF STANDARD CROSS SECTIONS ON HORIZONTAL LOAD

V.V. Znamenskiy<sup>1</sup>, E.P. Znamenskaya<sup>1</sup>, D.Yu. Chunyaev<sup>1</sup>, D.R. Khaliullina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Hilti Distribution Ltd., Moscow, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 25 August 2017  
Accepted: 21 December 2017  
Published: 30 March 2018

#### Keywords:

driven piles, bearing capacity,  
horizontal load, pile foundations,  
methods of evaluating bearing  
capacity

### ABSTRACT

The article is devoted to evaluating the bearing capacity of pre-fabricated reinforced concrete piles with most common serial cross-sections from 0,25x0,25 m to 0,40x0,40 m under horizontal loading. A general classification and a brief description of calculation methods of piles under horizontal loading are outlined here. The issue of choosing a design scheme aimed to calculate the action of the horizontal load on piles using mathematical methods is considered in detail. By calculating pile rigidity based on several most common methods which determine the scheme of its deformation in soil and selection of a calculation method, it has been shown that it is impossible to consider the specified pile as a hard rod rotating in the soil without bending. To confirm this conclusion, the article presents the experimental results data obtained during the tests under horizontal loading of the pile with a free head in different soil conditions. It has been shown that the considered piles, regardless of soil conditions, lose their bearing capacity because of fracture (in material) under horizontal displacement at the level of soil surface of about 10-15 mm.

Based on the analysis of the calculated and experimental data, the article presents a table enabling a preliminary evaluation of bearing capacity for prefabricated reinforced concrete piles having standard cross-sections and a loose head without complex calculations, if the coefficient of proportionality  $K$  is known (which are listed in Table B.1, Attachment B.S.P. 24.13330.2011). Apart from it, the recommendations which help to consider the pinching factor of its head in the grillage and interaction of piles through the soil when evaluating the bearing capacity of piles working as part of the foundation.

© PNRPU

Широкое применение свайных фундаментов в промышленном и гражданском строительстве явилось причиной пристального внимания к состоянию нормативной базы по их расчету и проектированию. За последние годы в развитии методов расчета, проектирования и строительства свайных фундаментов был достигнут значительный прогресс. Ученые совместно с ведущими специалистами проектных институтов и строительных организаций обобщили накопленный опыт использования свай в различных грунтовых условиях, провели большой объем экспериментальных и теоретических исследований, разработали новые или усовершенствовали существовавшие методы расчета и проектирования свайных фундаментов [1–5]. Несмотря на это, ряд методов расчета требуют уточнения или дальнейшего развития. Одним из таких методов является метод расчета свайных фундаментов на горизонтальную нагрузку.

В настоящее время имеется большое число методов оценки несущей способности одиночной сваи при действии на нее горизонтальной нагрузки, которые делятся на три группы:

- метод испытания свай пробной статической нагрузкой;
- эмпирические методы;
- математические методы.

**Метод испытания свай** пробной статической нагрузкой позволяет наиболее точно установить фактическое сопротивление сваи действию горизонтального усилия. Испытываются сваи со свободной головой, а их защемление в ростверк учитывается умножением

полученного значения предельного сопротивления сваи горизонтальной нагрузке на коэффициент заземления  $K_3 > 1$ . В случае свайных кустов при расстоянии между сваями менее  $6d$ , где  $d$  – диаметр круглого или сторона квадратного сечения сваи, в расчет вводится еще один коэффициент –  $K_{вв} < 1$  – коэффициент взаимовлияния свай через грунт, учитывающий совместную работу свай в фундаменте. Произведение коэффициентов  $K_3$  и  $K_{вв}$  иногда называют коэффициентом кустового эффекта  $K_{кэ}$ , учитывающего отличие несущей способности горизонтально нагруженной одиночной сваи со свободной головой от несущей способности сваи в кусте при одинаковом горизонтальном смещении.

На практике метод испытания свай пробной статической нагрузкой используется для контроля несущей способности горизонтально нагруженной сваи, определенной аналитическим или эмпирическим методом, поскольку до начала проектирования провести испытание сваи в грунтовых условиях предполагаемой строительной площадки практически невозможно.

**Эмпирические методы** заключаются в использовании для расчетов различного рода эмпирических и полуэмпирических формул, в коэффициентах которых скрыт характер взаимодействия между сваями и грунтом.

Эмпирические методы широкого применения на практике не нашли из-за некоторой неопределенности, возникающей при назначении используемых в них эмпирических безразмерных коэффициентов.

**Математические методы** расчета одиночных свай на горизонтальную нагрузку, нашедшие наиболее широкое применение в практике проектирования, в зависимости от схемы работы сваи в грунте условно делятся на две большие группы:

- первая группа методов разработана для коротких жестких свай, поворачивающихся под действием горизонтальной силы в грунте без изгиба вокруг некоторой «нулевой точки» (рис. 1, а);
- вторая группа методов разработана для свай, которые под действием горизонтальной нагрузки поворачиваются в грунте с изгибом (короткие гибкие сваи – рис. 1, б) или изгибаются в грунте без поворота, т.е. без горизонтального смещения их нижнего конца (длинные гибкие сваи – рис. 1, в).

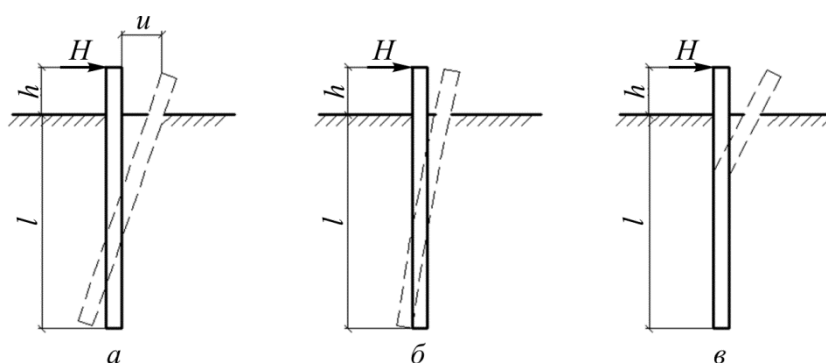


Рис. 1. Схемы работы в грунте горизонтально нагруженных свай различной жесткости:  
а – короткая жесткая свая; б – короткая гибкая свая; в – длинная гибкая свая

Fig. 1. Schemes of horizontally loaded piles of different rigidity acting in the spils:  
a is a short rigid pile; b is a short flexible pile; c is the long flexible pile

Существует целый ряд предложений по отнесению горизонтально нагруженной сваи к той или иной группе по жесткости, самое простое из которых, сделанное еще в 1946 г., принадлежит В.Г. Березанцеву [6]. В соответствии с его предложением показателем, по

которому производится это разделение, является отношение  $l/d$ , где  $l$  – длина сваи в грунте;  $d$  – диаметр круглого или сторона квадратного сечения сваи:

- при  $l/d \leq 12$  – жесткие сваи;
- при  $l/d > 12$  – гибкие сваи.

Явным недостатком такой классификации является то, что она не учитывает грунтовые условия, хотя очевидно, что при одной и той же длине свая в слабом грунте может работать как жесткая, а в плотном грунте – как гибкая.

Впоследствии появился ряд других предложений по классификации горизонтально нагруженных свай по жесткости, которые, в отличие от предложения В.Г. Березанцева, показатель жесткости определяют с учетом деформационных характеристик грунтового основания.

Так, А.С. Буслов [7] предложил схему работы горизонтально нагруженной сваи (жесткость сваи) определять по показателю  $\lambda l$ , вычисляемому по формуле

$$\lambda l = 0,635l [1,54cd/(1+\nu)EI]^{1/4}, \quad (1)$$

где  $c$  – коэффициент постели грунта;  $\nu$  – коэффициент Пуассона грунта;  $EI$  – жесткость поперечного сечения сваи на изгиб: при  $\lambda l \leq 1,5$  – короткая жесткая свая; при  $1,5 < \lambda l < 2,5$  – короткая гибкая свая; при  $\lambda l \geq 2,5$  – длинная гибкая свая.

В соответствии с нормативными документами, в частности с СП 24.13330.2011, разделение свай на гибкие и жесткие с учетом как податливости грунта, так и длины свай производится по приведенной глубине погружения свай в грунт  $\bar{l}$ , которая определяется по формуле К.С. Завриева [8, 9]:

$$\bar{l} = l[Kb_p/(\gamma_c EI)]^{1/5}, \quad (2)$$

где  $l$  – глубина погружения сваи в грунт;  $K$  – коэффициент податливости грунта;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работ;  $EI$  – то же, что в формуле (1);  $b_p$  – условная ширина сваи, учитывающая пространственный характер ее работы,  $b_p = 1,5d + 0,5$ ; при  $\bar{l} \leq 1$  сваи рассматриваются как короткие жесткие, при  $\bar{l} > 1$  – как длинные гибкие.

Результаты разделения свай по жесткости, выполненного по приведенными выше методикам, приведены в табл. 1–3.

Существуют и другие методы оценки жесткости горизонтально нагруженных свай в грунте (В.В. Левенстам [10], В.С. Миронов [11], В. Broms [13] и др. [14–19]).

Таблица 1

Классификация свай по жесткости по отношению  $l/d$

Table 1

Classification of piles according to rigidity in respect to  $l/d$

Длина сваи $l$ , м	Показатель $\lambda l$ для сваи сечением			
	0,25×0,25	0,30×0,30	0,35×0,35	0,40×0,40
1	2	3	4	5
Коэффициент постели $c = 650$ кН/м <sup>3</sup>				
2,0	0,952	0,830	0,740	0,670
3,0	2,142	1,869	1,665	1,500
4,0	3,808	3,320	2,956	2,676

Таблица 2

Классификация свай по жесткости по показателю  $\lambda l$  (А.С. Буслов)

Table 2

Classification of piles according to rigidity according to  $\lambda l$  parameter (A.S. Buslov)

Длина свай $l$ , м	Показатель $\lambda l$ для свай сечением			
	0,25×0,25	0,30×0,30	0,35×0,35	0,40×0,40
1	2	3	4	5
Коэффициент постели $c = 650 \text{ кН/м}^3$				
2,0	0,952	0,830	0,740	0,670
3,0	2,142	1,869	1,665	1,500
4,0	3,808	3,320	2,956	2,676
1	2	3	4	5
Коэффициент постели $c = 1000 \text{ кН/м}^3$				
2,0	1,06	0,924	0,824	0,746
3,0	2,385	2,079	1,854	1,677
4,0	4,240	3,696	3,296	2,98
Коэффициент постели $c = 3000 \text{ кН/м}^3$				
2,0	1,394	1,216	1,084	0,980
3,0	3,138	2,739	2,439	2,205
4,0	5,580	4,868	4,336	3,924
Коэффициент постели $c = 5000 \text{ кН/м}^3$				
2,0	1,586	1,382	1,232	1,114
3,0	3,567	3,111	2,772	2,508
Коэффициент постели $c = 7000 \text{ кН/м}^3$				
2,0	1,724	1,504	1,34	1,212
3,0	3,879	3,384	3,015	2,727
Коэффициент постели $c = 9000 \text{ кН/м}^3$				
2,0	1,836	1,602	1,426	1,29
3,0	4,131	3,603	3,21	2,904
Коэффициент постели $c = 11000 \text{ кН/м}^3$				
2,0	1,93	1,684	1,5	1,356
3,0	4,344	3,789	3,375	3,054
Коэффициент постели $c = 13000 \text{ кН/м}^3$				
2,0	2,012	1,756	1,564	1,414
3,0	4,53	3,951	3,519	3,183

Таблица 3

Классификация свай по жесткости по приведенной глубине погружения свай в грунт  $\bar{l}$

Table 3

Classification of piles according to the rigidity at a given depth of piles diving into the ground  $\bar{l}$

Длина свай $l$ , м	Приведенная глубина погружения свай в грунт для свай сечением			
	0,25×0,25	0,30×0,30	0,35×0,35	0,40×0,40
Коэффициент пропорциональности $k = 650 \text{ кН/м}^4$				
2,0	1,133	0,995	0,893	0,814
3,0	1,699	1,493	1,34	1,221
Коэффициент пропорциональности $k = 1000 \text{ кН/м}^4$				
2,0	1,235	1,085	0,973	0,887
3,0	1,852	1,627	1,46	1,331

Примечание: желтый цвет – короткие жесткие сваи; синий цвет – короткие гибкие сваи; бежевый цвет – длинные гибкие сваи.

Все рассмотренные и отмеченные методы классификации свай по жесткости допускают возможность поворота горизонтально нагруженной сваи в грунте без изгиба, но только для свай, длина которых даже в слабом грунте не превышает 2,5 м (за исключением классификации по отношению  $l/d$ , при которой поворот свай без изгиба допускается вплоть до длины 3,5–4,0 м). Такие короткие сваи заводского изготовления применяются в основном в малом строительстве, где горизонтальные нагрузки практически отсутствуют или являются несущественными.

Ниже приведены результаты испытаний свай горизонтальной нагрузкой, выполненных лабораторией НИУ МГСУ совместно с ОАО «Фундаментпроект» и Бюро научно-технической помощи Красноярского Промстройинипроекта. Испытания проводились с целью установления несущей способности стандартных забивных железобетонных свай квадратного сечения на горизонтальную нагрузку в различных грунтовых условиях и уточнения характера их деформирования и разрушения в грунте.

Испытания проводились по стандартной методике, горизонтальная нагрузка прикладывалась на уровне поверхности грунта. После испытаний сваи откапывались или извлекались из грунта выдергиванием с целью установления характера их разрушения.

Результаты испытаний, приведенные в табл. 4, показали следующее:

- во всех без исключения случаях сваи потеряли несущую способность при горизонтальном смещении на уровне поверхности грунта порядка 1,0–1,5 см;
- потеря несущей способности сваями произошла «по материалу» за счет их излома на глубине  $3...4d$  от поверхности грунта;
- все сваи работали в грунте по схеме «короткая гибкая» или «длинная гибкая», поворот сваи в грунте ни в одном из проведенных испытаний зафиксирован не был;
- несущая способность испытанных свай на горизонтальную нагрузку практически не зависела от глубины их погружения в грунт.

Таблица 4

Результаты испытаний свай горизонтальной нагрузкой

Table 4

Test results of piles onder horizontal loading

Номер опытной площадки	Грунтовые условия	Длина сваи в грунте	Несущая способность сваи, кН, при сечении			
			0,25×0,25	0,30×0,30	0,35×0,35	0,40×0,40
1	Суглинок мягкопластичный $K = 3750 \text{ кН/м}^4$	2,7 м	9,2	20,0	28,0	39,2
		5,2 м	10,4	21,3	–	–
2	Суглинок пластичный $K = 5000 \text{ кН/м}^4$	3,6 м	17,2	34,0	45,0	56,0
		4,4 м	17,9	33,9	–	–
		5,0 м	17,8	32,6	–	–
3	Песок мелкий, средней плотности $K = 6500 \text{ кН/м}^4$	3,0 м	21,0	38,9	49,1	64,0
		5,5 м	22,2	39,9	–	–
4	Суглинок тугопластичный $K = 6500 \text{ кН/м}^4$	3,8 м	20,2	36,1	48,0	–
		6,4 м	21,4	35,4	49,2	–
5	Суглинок полутвердый $K = 6500 \text{ кН/м}^4$	2,7 м	22,1	39,4	–	–
		5,2 м	23,4	–	–	–
6	Песок мелкий, средней плотности $K = 6500 \text{ кН/м}^4$	3,6 м	22,3	–	47,3	–
		9,4 м	23,0	–	48,9	–
7	Песок мелкий, плотный $K = 10\,400 \text{ кН/м}^4$	2,5 м	28,0	–	–	–
		3,5 м	30,1	–	–	–

Результаты испытаний свай и анализ публикаций по рассматриваемому вопросу позволяют говорить, что, поскольку стандартные железобетонные сваи квадратного сечения теряют несущую способность на горизонтальную нагрузку за счет излома (по материалу) при горизонтальном смещении на уровне поверхности грунта не более 15 мм, их несущая способность при известном коэффициенте пропорциональности грунта  $K$  может быть оценена без выполнения сложных расчетов, по табл. 5.

Таблица 5

Расчетное сопротивление сваи со свободной головой действию горизонтальной нагрузки при горизонтальном смещении головы сваи на уровне поверхности грунта, равном 1,0–1,5 см

Table 5

The design resistance of the pile with a free head against the action of the horizontal loading during the horizontal displacement of the pile head at the level of the ground surface equal to 1,0-1,5 cm

Коэффициент пропорциональности $K$ , $\text{kH/m}^4$	Расчетное сопротивление сваи со свободной головой $H$ , $\text{kH}$ , при размере поперечного сечения, м			
	0,25×0,25	0,30×0,30	0,35×0,35	0,40×0,40
650	7,80	18,24	25,11	35,10
1000	8,20	20,08	28,16	37,77
3000	12,50	25,90	35,09	45,58
5000	19,30	32,13	42,13	53,18
7000	21,03	38,31	49,12	61,26
9000	24,40	44,16	56,37	70,36
11000	29,25	50,10	63,50	79,00
13000	33,74	56,24	72,08	87,00

При проектировании свайных кустов при жестком защемлении голов свай в ростверк расчетное сопротивление сваи на горизонтальную нагрузку необходимо умножить на повышающий коэффициент защемления  $K_z$ , значение которого для рассматриваемых в настоящей работе стандартных железобетонных забивных свай квадратных сечений 0,25×0,25; 0,30×0,30; 0,35×0,35 и 0,40×0,40 м допускается принимать равным 2,6.

Учет взаимовлияния свай в кусте, работающем на горизонтальную нагрузку, может быть осуществлен введением в расчет коэффициента взаимовлияния свай  $K_{\text{вв}}$ , значения которого приведены в табл. 6.

Таблица 6

Значение коэффициента взаимовлияния  $K_{\text{вв}}$

Table 6

The value of  $K_{\text{вв}}$  mutual influence coefficients

Число свай в группе, $n$	Значение коэффициента взаимовлияния $K_{\text{вв}}$ при осевом расстоянии между сваями $a$			
	$3d$	$4d$	$5d$	$6d$
3	0,649	0,737	0,813	0,881
4	0,626	0,713	0,8	0,858
6	0,585	0,673	0,751	0,821
9	0,539	0,628	0,708	0,781
12	0,504	0,596	0,678	0,755
16	0,47	0,566	0,654	0,736
20	0,446	0,546	0,64	0,729

## Выводы

1. Работа горизонтально нагруженных железобетонных свай заводского изготовления стандартных сечений  $0,25 \times 0,25$ ,  $0,30 \times 0,30$ ,  $0,35 \times 0,35$  и  $0,40 \times 0,40$  м по жесткой схеме независимо от грунтовых условий возможна только при длине свай менее 2,5 м, откуда следует, что методы расчета первой группы, рассматривающие сваю как жесткий стержень, который поворачивается в грунте без изгиба, использовать для расчета указанных типов свай практически невозможно. Область их применения – оболочки и буровые столбы большого диаметра при небольшом заглублении в грунт, внецентренно нагруженные фундаменты и т.п., что логично, поскольку первоначально эти методы разрабатывались для расчета массивных подпорных стенок.

2. Горизонтально нагруженные железобетонные сваи заводского изготовления стандартных сечений  $0,25 \times 0,25$ ,  $0,30 \times 0,30$ ,  $0,35 \times 0,35$  и  $0,40 \times 0,40$  м при их длине более 2,5 м независимо от грунтовых условий теряют несущую способность при горизонтальном смещении на уровне поверхности грунта порядка 1,0–1,5 см. Потеря несущей способности сваями происходит «по материалу» за счет их излома на глубине  $3 \dots 4d$  от поверхности грунта.

3. Расчетную горизонтальную нагрузку на сваю рекомендуется определять по табл. 5 в зависимости от размеров ее поперечного сечения и коэффициента пропорциональности грунта  $K$ , значения которого приведены в табл. В.1 Приложения В СП 24.13330.2011.

4. При проектировании свайных кустов при жестком защемлении голов свай в ростверк расчетное сопротивление сваи на горизонтальную нагрузку необходимо умножить на повышающий коэффициент защемления  $K_3$ , значение которого для рассматриваемых в настоящей работе стандартных железобетонных забивных свай квадратных сечений  $0,25 \times 0,25$ ;  $0,30 \times 0,30$ ;  $0,35 \times 0,35$  и  $0,40 \times 0,40$  м допускается принимать равным 2,6.

## Библиографический список

1. Голубков В.Н. Экспериментальные исследования работы свай на горизонтальную нагрузку // Основания и фундаменты. Вопросы механики грунтов. – М., 1948. – С. 5–34.
2. Исследование деформации в грунте под действием горизонтальной нагрузки / Голубков В.Н. [и др.] // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1958. – № 4.
3. Знаменский В.В. О расчете свай на горизонтальную нагрузку // Сб. докладов и сообщений по свайным фундаментам. – М., 1968. – С. 310–315.
4. Знаменский В.В. Инженерный метод расчета горизонтально нагруженных групп свай. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 128 с.
5. Строганов А.С. Теоретические и экспериментальные исследования работы длинных одиночных свай на горизонтальную нагрузку. – М.: Водгео, 1953. – 79 с.
6. Березанцев В.Г. Расчет одиночных свай и свайных кустов на действие горизонтальных сил. – М.: Воениздат, 1946. – 60 с.
7. Буслов А.С. Работа свай на горизонтальную нагрузку за пределами упругости в связных грунтах. – Ташкент: Изд-во ФАН Узбекской ССР, 1979. – 102 с.
8. Завриев К.С. К расчету свай и свай-оболочек на горизонтальные и моментные нагрузки // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1974. – № 12. – С. 10–11.
9. Завриев К.С. Приближенный способ расчета свай на горизонтальную нагрузку и определение их гибкости // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1976. – № 3. – С. 6.
10. Левенстам В.В. Исследование взаимодействия с грунтом фундаментов типа коротких свай при действии горизонтальной нагрузки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 1971.



11. Миронов В.В. О методе расчета свай на горизонтальные нагрузки // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1971. – № 3. – С. 15–17.
12. Brinch Hansen J. The ultimate resistance of rigid piles against traversal forces // Bulletin № 12 of the Danish Geotechnical Institute. – 1961. – P. 5–9.
13. Broms B. Lateral resistances of piles in cohesionless soils // Journal of the Soils Mechanics and Foundation Div. – 1964 – Vol. 90. – No. 3.
14. Cummings A. E. Lateral pile-loading test // Proc. ASCE. – 1935. – Vol. 61. – No. 9.
15. Davisson M.T., Gill H.L. Laterally loaded piles in a loaded system // Journal of the Soils Mechanics and Foundation Div., 1963. – Vol. 89, NSM3, PROC. 3509.
16. Fedders H. Lateral earth pressure against piles in soft, cohesive soils. – Recommendation for functional and structural design // Papers Specialty Session N 10, IX ICSMFE. – Tokyo, 1977.
17. Hudson M., Ripperger E.A. Measurement pressure on a laterally loaded pile // Proc. ASTM. – 1958. – Vol. 58.
18. Matlock H., Rees L. Generalised solutions for laterally loaded piles // J. Soil Mech. and Found. Div. NSM5. – 1960. – Vol. 86. – P. 63–91.
19. Wilkins R.J. – M. sc. A.M. I.C.E. The bending of vertical pile under latered forces // Civil Eng. and Publ. works Rev. May 1951. – Vol. 46. – No. B 39. – P. 355–357.

## References

1. Golubkov V.N. Eksperimental'nye issledovaniia raboty svai na gorizont'al'nuiu nagruzku [Experimental study of piles for horizontal load]. *Osnovaniia i fundamenti. Voprosy mekhaniki gruntov*. Moscow, 1948, pp. 5-34.
2. Golubkov V.N. et al. Issledovanie deformatsii v grunte pod deistviem gorizont'al'noi nagruzki [The study of deformation in the soil under the action of horizontal loads]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 1958, no. 4.
3. Znamenskiy V.V. O raschete svai na gorizont'al'nuiu nagruzku [Calculation of piles for horizontal load]. *Sbornik dokladov i soobshchenii po svainym fundamentam*. Moscow, 1968, pp. 310-315.
4. Znamenskiy V.V. Inzhenernyi metod rascheta gorizont'al'no nagruzhennykh grupp svai [Calculation of laterally loaded groups of piles]. Moscow, ASV, 2000, 128 p.
5. Stroganov A.S. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniia raboty dlinnykh odinochnykh svai na gorizont'al'nuiu nagruzku [Theoretical and experimental studies of a long single pile for horizontal load]. Moscow, Vodgeo, 1953, 79 p.
6. Berezantsev V.G. Raschet odinochnykh svai i svainykh kustov na deistvie gorizont'al'nykh sil [The calculation of single piles and pile bushes on the action of horizontal forces]. Moscow, Voenizdat, 1946, 60 p.
7. Buslov A.S. Rabota svai na gorizont'al'nuiu nagruzku za predelami uprugosti v sviaznykh gruntakh [Work of piles for horizontal load beyond the limits of elasticity in cohesive soils]. Tashkent, FAN Uzbek SSR, 1979, 102 p.
8. Zavriev K.S. K raschetu svai i svai-obolochek na gorizont'al'nye i momentnye nagruzki [To the calculation of piles and pipes on the horizontal and torque loads]. *Osnovaniia, fundamenti i mekhanika gruntov*, 1974, no. 12, pp. 10-11.
9. Zavriev K.S. Priblizhennyi sposob rascheta svai na gorizont'al'nuiu nagruzku i opredelenie ikh gibkosti [Approximate method of calculation of piles on the horizontal load and the definition of the flexibility]. *Osnovaniia, fundamenti i mekhanika gruntov*, 1976, no. 3, p. 6.

10. Levenstam V.V. Issledovanie vzaimodeistviia s gruntom fundamentov tipa korotkikh svai pri deistvii gorizontnoi nagruzki [Study of the interaction with the soil Foundation of type short piles under the action of horizontal loads]. Abstract of Ph. D. thesis. Rostov-na-donu, 1971.
11. Mironov V.V. O metode rascheta svai na gorizontnye nagruzki [On the method of calculation of piles on the horizontal load]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 1971, no. 3, pp. 15-17.
12. Brinch Hansen J. The ultimate resistance of rigid piles against traversal forces. *Bulletin № 12 of the Danish Geotechnical Institute*, 1961, pp. 5-9.
13. B.Broms. Lateral resistans of piles in cohesionless soils. *Journal of the Soils Mechanics and Foundation Div.*, 1964, vol. 90, no. 3.
14. Cummings A. E. Lateral pile-loading test. *Proc. ASCE*, 1935, vol. 61, no. 9.
15. Davisson M.T. and Gill H.L. Laterally loaded piles in a loyed system. *Journal of the Soils Mechanics and Foundation Div.*, vol. 89. NSM3, PROC. 3509.
16. Fedders H. Lateral earth pressure against piles in soft, cohesive soils. Recommendation for functional and structural design. *Papers Specialty Session N 10, IX ICSMFE*, Tokyo, 1977.
17. Hudson M. and Ripperger E.A. Measurament pressure on a laterally loaded pile. *Proc. ASTM*, 1958, vol. 58.
18. Matlock H. and Rees L. Generalised solutions for laterally loaded piles. *Journal of the Soils Mechanics and Foundation Div.*, 1960, NSM5, vol. 86, pp. 63-91.
19. Wilkins R.J. – M. sc. A.M. I.C.E. The bending of vertical pile under latered forces. *Civil Eng. and Publ. works Rev.*, vol. 46, no. B 39, May 1951, pp. 355-357.