

$$\omega_{\sigma,2} \sigma_{x,2} \cdot b \cdot x_{B,2} \cdot (h_0 - 0,5x_{B,2}) = D_{u,3}; \quad \frac{Q_{s,3} A_{s,3} + \omega_{\tau,2} \cdot \tau_{\sigma,2} \cdot b \cdot x_{B,2}}{0,8} = D_{u,4};$$

$$\frac{q_{sw,hor} \cdot 0,5 \cdot (h - x_{B,2}) q_{sw,hor} \cdot 0,5 \cdot (h - h_3)}{A_{s,3} \cdot (h_0 - 0,5x_{B,2})} = D_{u,5}.$$

Физический смысл уравнения заключается в том, что оно позволяет среди множества возможных наклонных трещин из веера 2, отыскать ту, по которой несущая способность железобетонной конструкции будет минимальной.

Таким образом, предложена расчетная схема и разрешающие уравнения для решения задачи прочности железобетонных конструкций по наклонным трещинам третьего типа. Реальность разрушения по наклонным трещинам третьего типа в ряде случаев подтверждена экспериментально [3, 4].

#### Список литературы

1. Голышев А. Б., Колчунов В. И. Сопротивление железобетона. Киев : Основа, 2009. 432 с.
2. Федоров В. С., Баширов Х. З. Расчетная модель сопротивления сдвигу составного железобетонного стержня // Архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 109–112.
3. Баширов Х. З., Крыгина А. М., Чернов К. М. Основные результаты экспериментальных исследований прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям // Жилищное строительство. 2013. № 6. С. 32–37.
4. Новые строительные материалы и изделия: региональные особенности производства / Д. П. Ануфриев, Н. В. Купчикова, Н. А. Страхова, Л. П. Кортовенко, В. А. Филлин, Е. М. Дербасова, С. С. Евсеева, П. С. Цамаева. М. : Изд-во АСВ, 2014. 200 с.

УДК 624.154

## РАСЧЕТ ПИРАМИДАЛЬНЫХ СВАЙ НА ДЕЙСТВИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

*О. Б. Завьялова, Д. И. Каширский*

*Астраханский государственный*

*архитектурно-строительный университет (Россия)*

В отличие от обычных призматических свай постоянного сечения, расчет пирамидальных свай на горизонтальную нагрузку требует большого объема вычислительной работы. Приходится учитывать изменяющееся с глубиной сечение сваи, определять на каждом уровне изгибную и сдвиговую жесткость, условную ширину сваи, жесткость упругих опор, которыми заменяется грунтовое основание. В статье рассмотрен сравнительный анализ расчета пирамидальной и призматической сваи приведенного сечения на горизонтальные нагрузки. Получен коэффициент приведения средней ширины пирамидальной сваи к ширине условной призматической сваи постоянного сечения. Упругое основание моделировалось постелью Винклера. Расчет выполнялся с помощью компьютерной программы, основанной на методе перемещений с учетом узлового

приложения нагрузки. Полученный коэффициент позволяет значительно упростить расчет пирамидальной сваи, обеспечивая высокую точность результатов.

**Ключевые слова:** пирамидальная свая, постель Винклера, упругие опоры, матрица жесткости.

Unlike conventional prismatic piles of constant cross section, the calculation of pyramidal piles on the horizontal load requires a large amount of computational work. Have to consider changing with the depth of the cross section of the pile to determine at each level of the Flexural and shear stiffness, contingent the width of the piles, the stiffness of the elastic supports, which is replaced by the subgrade. The paper deals with comparative analysis of the calculation of pyramidal and prismatic piles given section on the horizontal load. The resulting factor of bringing the average width of the pyramidal piles of the width of a conventional prismatic piles of constant cross section. The elastic Foundation is simulated by the Winkler bed. The calculation was performed using a computer program based on the displacements given nodal load. The estimated coefficient allows to simplify considerably the calculation of pyramidal piles, providing high accuracy of results.

**Keywords:** pyramidal pile, Winkler's bed, elastic supports, stiffness matrix.

Пирамидальные сваи наиболее эффективно применять в однородных неуплотненных грунтах. При забивке этих свай уплотнение окружающего их грунта происходит в большей степени, чем у обычных призматических или цилиндрических свай. Но расчет пирамидальных свай достаточно сложен. При действии горизонтальной нагрузки приходится производить расчет с учетом изменяющегося сечения сваи, определять на каждом уровне ее жест костные характеристики, условную ширину забитой сваи, коэффициенты жесткости упругих опор, которыми заменяется грунтовое основание. В свою очередь у призматических свай это приходится делать всего один раз, так как поперечное сечение у такой сваи постоянное. Для упрощения расчета пирамидальной сваи возможно учитывать усредненное значение ширины поперечного сечения. Но результаты такого расчета имеют значительную погрешность [1, 2].

Расчет свай на действие горизонтальной нагрузки удобно выполнять с использованием модели упругого основания Винклера, когда грунт заменяют множеством независимых друг от друга упругих опор, число которых принимают не менее десяти. Уплотнение грунта при забивке сваи учитывается увеличением условной ширины свайного фундамента. Для уменьшения объема вычислительной работы попробуем выполнить расчет по среднему значению размеров поперечного сечения сваи.

Рассмотрим расчет пирамидальных свай нескольких типоразмеров: с соотношением верхней стороны поперечного сечения  $b_{\text{верх}}$  к нижней стороне  $b_{\text{низ}}$  равным 2, 4 и 6, причем нижнее поперечное сечение сваи во всех случаях 20x20 см. Длина сваи  $l = 9\text{ м}$ . Условная горизонтальная нагрузка  $P = 1000\text{ кН}$ . Грунтовое основание трехслойное. Мощность слоев грунта:  $h_1 = 3\text{ м}$ ,  $h_2 = 4\text{ м}$ ,  $h_3 > 6\text{ м}$ . Коэффициенты постели для слоев:

$k_1 = 30000$  кН/м<sup>3</sup>,  $k_2 = 45000$  кН/м<sup>3</sup>,  $k_3 = 60000$  кН/м<sup>3</sup>. Модуль упругости бетона  $E_b = 27 \times 10^3$  МПа.

Первоначально выполним расчет пирамидальной сваи с реальными размерами. Затем сравним с результатами расчета условной призматической сваи среднего сечения.

Расчет выполняем методом перемещений с учетом узлового приложения нагрузки. Основная расчетная формула:

$$\|R\| \cdot \{V\} = \{P\} \quad (1)$$

Матрица жесткости складывается из матрицы жесткости основания и матрицы жесткости упругих опор. Расчетная схема сваи на упругих опорах со связями метода перемещений и эпюра коэффициента постели представлена на рис 1.

Определяем условную ширину забивной сваи:

$$b_{\text{усл}} = 0,5 + 1,5d_{\text{св}}, \quad (2)$$

где  $b_{\text{усл}}$  – условная ширина сваи;  $d_{\text{св}}$  – диаметр поперечного сечения сваи (для прямоугольного сечения берется сторона).

Значение  $b_{\text{усл}}$  определим для поперечных сечений, взятых с шагом 1 метр. Полученные значения сводим в столбец 5 таблицы 1.

Среднюю ширину сваи также определяем для трех типоразмеров свай (таблица 5, столбец 4).

Жесткости упругих опор определяем по формуле:

$$C_i = k_i \cdot l_i \cdot b_{\text{усл}}, \quad (3)$$

где  $C_i$  – жесткость  $i$ -ой упругой опоры;  $k_i$  – коэффициент постели  $i$ -ой опоры;  $l_i$  – длина участка, приходящаяся на  $i$ -ю опору;  $b_{\text{усл}}$  – условная ширина сваи.

Коэффициенты жесткости сведены в таблицу 2.

Вычисляем жесткости поперечного сечения при изгибе ( $EI$ ) и сдвиге ( $GA$ ):

$$EI = E_b \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (4)$$

$$GA = 0,3 \cdot E_b \cdot b \cdot h \quad (5)$$

где  $E_b$  – модуль упругости бетона;  $b$  – ширина поперечного сечения;  $h$  – высота поперечного сечения (в данном случае  $h = b$ ).

Результаты расчета сведены в таблицы 3 и 4.

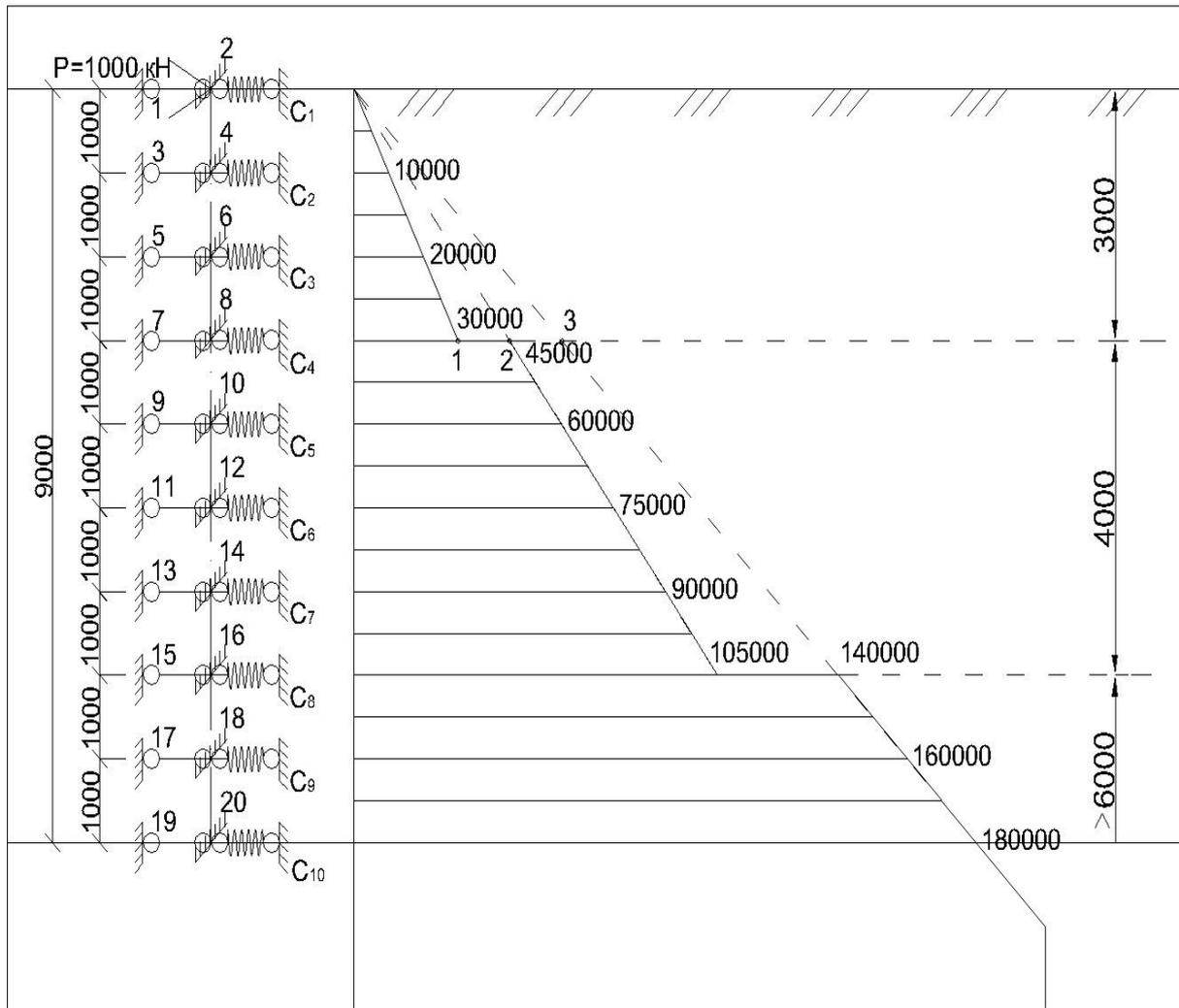


Рис. 1. Расчетная схема сваи и эпюра коэффициента постели трехслойного основания

Таблица 1  
Условная ширина фундамента при различных соотношениях поперечных сечений

$\frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}}$	$d_{\text{св, сред}}, \text{ м}$	$d_{\text{св, реал}}, \text{ м}$	$b_{\text{усл, сред}}, \text{ м}$	$b_{\text{усл, реал}}, \text{ м}$
2	0,3	0,40	0,95	1,1
		0,378		1,07
		0,356		1,033
		0,333		1,0
		0,311		0,967
		0,289		0,933
		0,267		0,9
		0,244		0,866
		0,222		0,833
		0,20		0,8

4	0,5	0,80	1,25	1,7
		0,733		1,6
		0,667		1,5
		0,599		1,4
		0,533		1,3
		0,467		1,2
		0,4		1,1
		0,333		1,0
		0,267		0,9
		0,20		0,8
6	0,7	1,20	1,55	2,3
		1,09		2,13
		0,978		1,97
		0,867		1,80
		0,756		1,63
		0,644		1,47
		0,533		1,30
		0,422		1,13
		0,311		0,97
		0,20		0,80

Таблица 2

## Коэффициенты жесткости упругих опор

$\frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}}$ $C_i$	2		4		6	
	$C_{\text{сред}}, \text{кН/м}$	$C_{\text{реал}}, \text{кН/м}$	$C_{\text{сред}}, \text{кН/м}$	$C_{\text{реал}}, \text{кН/м}$	$C_{\text{сред}}, \text{кН/м}$	$C_{\text{реал}}, \text{кН/м}$
1	1187,5	1375	1562,5	2125	1937,5	2875
2	9500	10 700	12 500	15 999,5	15 500	21 333,5
3	19 000	20 660	25 000	30 001	31 000	39 334
4	36 218,75	38 125	47 656,25	53 334,96	59 093,75	68 626,9
5	57 000	58 020	75 000	77 997	93 000	98 004
6	71 250	69 975	93 750	90 003,75	116 250	109 995
7	85 500	81 000	112 500	99 000	139 500	116 995,5
8	11 6969	106 626	153 906,25	123 118,84	190 843,75	139 537,5
9	15 2000	133 280	200 000	144 008	248 000	154 664
10	83 125	70 000	109 375	70 000	135 625	70 000

Таблица 3

## Жесткость поперечного сечения при изгибе

$\frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}}$ $EI$	2		4		6	
	$EI_{\text{сред}}, \text{кН*м}^2$	$EI_{\text{реал}}, \text{кН*м}^2$	$EI_{\text{сред}}, \text{кН*м}^2$	$EI_{\text{реал}}, \text{кН*м}^2$	$EI_{\text{сред}}, \text{кН*м}^2$	$EI_{\text{реал}}, \text{кН*м}^2$
1	18 225	57 600	140 625	921 600	540 225	4 665 600
2	18 225	45 790	140 625	650 592,8	540 225	3 163 257
3	18 225	35 977	140 625	444 533,3	540 225	2 056 755
4	18 225	27 767	140 625	290 241,6	540 225	1 269 573

5	18 225	21 076	140 625	181 998,9	540 225	733 415,9
6	18 225	15 674	140 625	106 741,6	540 225	387 975,8
7	18 225	11 384	140 625	57 600	540 225	181 998,9
8	18 225	8028	140 625	27 766,67	540 225	71 491,67
9	18 225	5845	140 625	11 383,47	540 225	21 075,73
10	18 225	3600	140 625	3600	540 225	3600

Таблица 4

Жесткость поперечного сечения при сдвиге

GA	$\frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}}$	2		4		6	
		GA <sub>сред</sub> , кН	GA <sub>реал</sub> , кН	GA <sub>сред</sub> , кН	GA <sub>реал</sub> , кН	GA <sub>сред</sub> , кН	GA <sub>реал</sub> , кН
1		729 000	1 296 000	2 025 000	5 184 000	3 969 000	11 664 000
2		729 000	1 155 524	2 025 000	4 355 604	3 969 000	9 604 196
3		729 000	1 024 256	2 025 000	3 600 360	3 969 000	7 744 352
4		729 000	899 820	2 025 000	2 909 200	3 969 000	6 084 468
5		729 000	783 944	2 025 000	2 303 712	3 969 000	4 624 544
6		729 000	676 052	2 025 000	1 764 252	3 969 000	3 363 536
7		729 000	576 144	2 025 000	1 296 000	3 969 000	2 303 712
8		729 000	483 824	2 025 000	899 820	3 969 000	1 443 848
9		729 000	399 920	2 025 000	576 144	3 969 000	783 944
10		729 000	324 000	2 025 000	324 000	3 969 000	324 000

Дальнейший расчет выполнялся с помощью программы БУ-2 (автор – доцент Е. А. Гуляев). Для учета деформаций сдвига принят коэффициент формы поперечного сечения  $\eta = 1,2$ .

Результаты расчета представлены в таблице 5 и на рис. 2.

Таблица 5

Результаты сравнительного расчета пирамидальной и условной призматической сваи среднего сечения

$\frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}}$	Изгибающий момент		$\delta, \%$	Поперечная сила		$\delta, \%$	Прогиб		$\delta, \%$
	M <sub>сред</sub> , кН*м	M <sub>реал</sub> , кН*м		Q <sub>сред</sub> , кН	Q <sub>реал</sub> , кН		U <sub>сред</sub> , м	U <sub>реал</sub> , м	
2	784,668	927,316	15,4	784,668	824,839	4,9	0,1975	0,1274	55
4	1250,196	1319,916	5,3	890,118	904,013	1,54	0,0671	0,0442	51,8
6	1597,733	1563,359	2,2	930,2	929,791	0,04	0,0365	0,0247	47,8

Как видно из таблицы 5, погрешность расчета поперечных сил незначительна и не превышает 5%, изгибающих моментов составляет от 2,2 до 15,4 %, наибольшая погрешность получилась при вычислении прогибов – до 55 %.

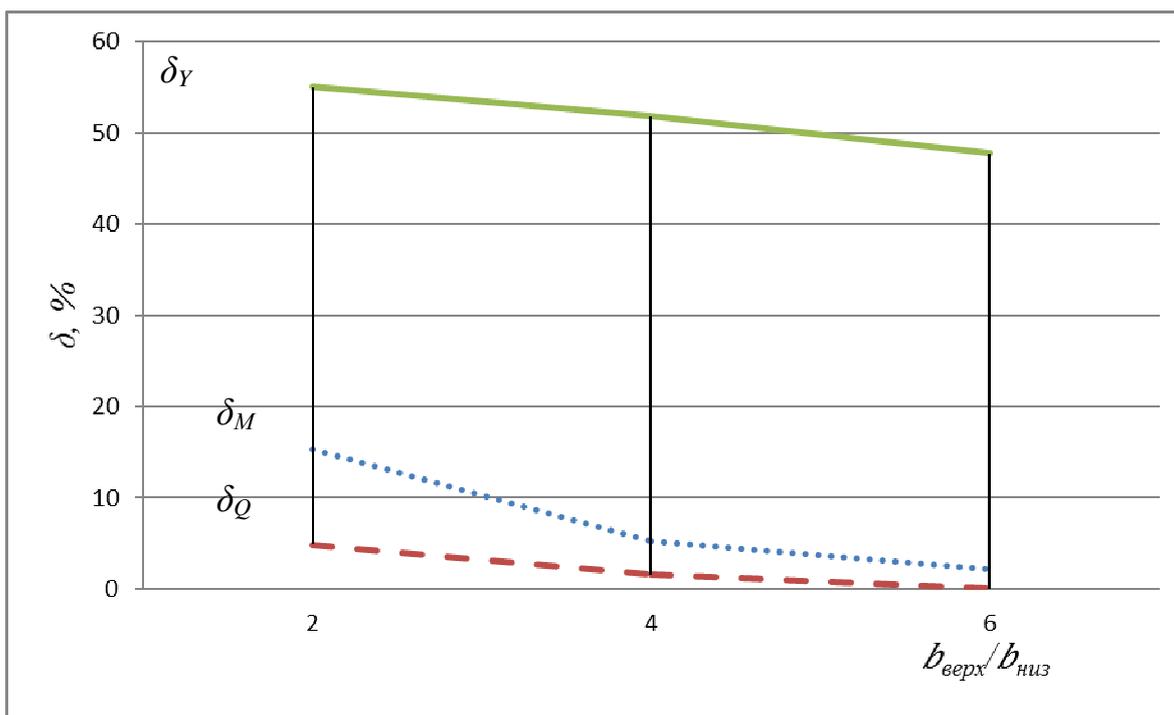


Рис. 2. График зависимости погрешности расчета прогиба, изгибающего момента и поперечной силы от соотношения размеров верхнего и нижнего концов сваи

Анализируя результаты, делаем вывод, что при расчете пирамидальных свай учет средних значений поперечного сечения не дает точного решения. Необходимо найти приведенную ширину условной призматической сваи, дающую лучшее совпадение результатов.

Далее множественными расчетами в программе БУ-2 методом подбора были получены приведенные значения ширины условной призматической сваи, дающие совпадение результатов для всех рассмотренных типоразмеров пирамидальных свай. В результате расчетов получены данные, представленные в таблице 6.

Таблица 6

Приведенные диаметры и соответствующие им прогибы и внутренние усилия

$\frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}}$	$d_{\text{св}}^{\text{привед}}, \text{ м}$	$M_{\text{привед}}, \text{ кН*м}$	$Q_{\text{привед}}, \text{ кН}$	$Y_{\text{привед}}, \text{ м}$
2	0,367	972,86	832,47	0,1273
4	0,649	1488,03	921,99	0,0427
6	0,947	1948,1	952,64	0,0202

Сравнивая приведенные значения с реальными, видим, что они практически совпадают. Следовательно, для упрощения расчета пирамидальных свай можно пользоваться приведенными значениями поперечного сечения.

Найдем соотношение приведенной и средней ширины сечения для рассмотренных типоразмеров свай, обозначим его коэффициент  $\chi$ .

Вычисление  $\chi$ :

$$\text{- при соотношении } \frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}} = 2: \quad \chi = \frac{d_{\text{привед}}}{d_{\text{средн}}} = \frac{0,367}{0,3} = 1,22 \approx 1,2$$

$$\text{- при соотношении } \frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}} = 4: \quad \chi = \frac{d_{\text{привед}}}{d_{\text{средн}}} = \frac{0,649}{0,5} = 1,298 \approx 1,3$$

$$\text{- при соотношении } \frac{b_{\text{верх}}}{b_{\text{низ}}} = 6: \quad \chi = \frac{d_{\text{привед}}}{d_{\text{средн}}} = \frac{0,947}{0,7} = 1,352 \approx 1,35$$

Строим график коэффициента  $\chi$  в зависимости от соотношения размеров верхнего и нижнего конца пирамидальной сваи: 2, 4 и 6 (рис. 3). При других соотношениях можно теперь определить коэффициент  $\chi$  с помощью этого графика. Тогда приведенная ширина условной призматической сваи постоянного сечения, которой можно заменить в расчете пирамидальную сваю, определится по формуле (6):

$$d_{\text{привед}} = d_{\text{средн}} \cdot \chi. \quad (6)$$

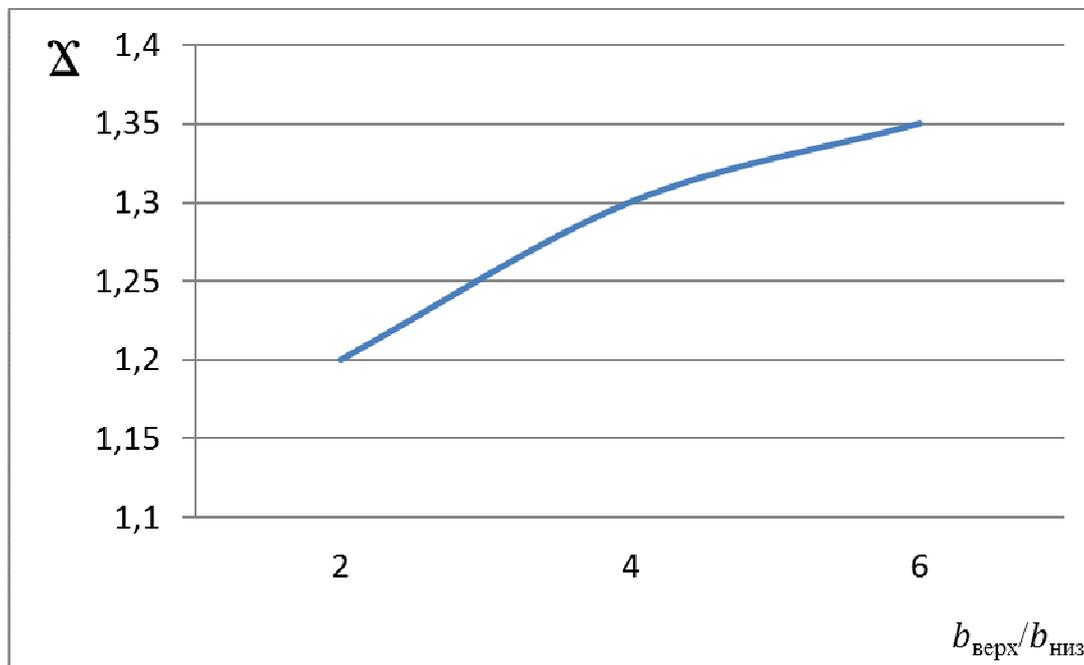


Рис. 3. График зависимости коэффициента, зависящего от соотношения поперечных сечений, к соотношению поперечных сечений

Вывод: при расчете пирамидальных свай на горизонтальные нагрузки с использованием модели Винклера можно значительно упростить вычисления, заменив пирамидальную сваю на условную призматическую по-

стоянной ширины с использованием полученного коэффициента приведения ширины  $\mathcal{X}$  [3–5].

#### Список литературы

1. Купчикова Н. В. Численные исследования работы системы «свайное основание-усиливающие элементы» методом конечных элементов // Строительство и реконструкция. 2013. № 6 (50). С. 28–35.
2. Ануфриев Д. П., Золина Т. В., Боронина Л. В., Купчикова Н. В., Жолобов А. Л. Новые конструкции и технологии при реконструкции и строительстве зданий и сооружений. М. : АСВ, 2013. 208 с.
3. Завьялова О. Б., Кузьмин И. А. Расчет конструкций на упругом основании : учеб.-метод. пособие для студентов строительных специальностей. Астрахань, 2010. 125 с.
4. Завьялова О. Б. Уточнение расчетных усилий в монолитных фундаментных плитах при действии сосредоточенных нагрузок // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 9. С. 24–25.
5. Гуляев Е. А. Методическое пособие по строительной механике с элементами УИРС. Астрахань, 1988.

УДК 373.5 (47)

### ИННОВАЦИОННЫЙ КОНСАЛТИНГ В ПРИВИТИИ СТУДЕНТАМ ПЕРВИЧНЫХ НАВЫКОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Р. И. Шахмедов*

*Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет (Россия)*

Привитие студентам строительных вузов первичных умений и навыков исследовательской деятельности невозможно без освоения ими методов поиска нового знания. Такое освоение лучше всего начать с приемов инновационного консалтинга в процессе первой практики. Приведены примеры такого освоения.

*Ключевые слова:* привитие первичных умений и навыков исследовательской деятельности студентам строительных вузов, инновационный консалтинг, прием инновационного консалтинга, варианты исполнения приема, проблема, решение.

Instilling students building universities primary research skills is not possible without development of methods of discovering new knowledge. Such assimilation is best to start with the development of innovative consulting techniques during the first practice. Examples of such development.

*Keywords:* imparting primary research skills for students of building universities, innovation consulting, method of execution innovative consulting, variant of performance of admission, problem, solving.

Одной из задач практики, которую проходят студенты АГАСУ после окончания первого курса, является привитие практикантам первичных умений и навыков исследовательской деятельности. Как можно заниматься