

### Список литературы

1. Серобетон и сероасфальт — уникальные технологии и оборудование. URL: <http://www.helpbeton.ru/>
2. Ерышев В. А. Метод расчета деформаций железобетонных стержневых и плитных конструкций при повторных, знакопеременных и других видах сложного нагружения : дис. ... д-ра тех. наук. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1997. 353 с.
3. Кокарев А. М. Деформация железобетонных элементов с трещинами при повторных и знакопеременных нагружениях и разгрузках : автореф. дис. ... канд. тех. наук. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1983. 22 с.
4. Карпенко Н. И., Ерышев В. А., Мухамедиев Т. А. Исследование деформации ж/б балочных элементов при знакопеременных нагрузках // Исследование ж/б конструкций при статических, повторных и динамических воздействиях. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1984. С. 56–72.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДЛИННЫХ СВАЙ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

*О. Б. Завьялова, А. О. Лобанова*  
*Астраханский государственный*  
*архитектурно-строительный университет*

При расчете ленточного фундамента, обвязочной балки, фундаментной плиты, а также свай удобно использовать модель упругого основания Винклера. При этом непрерывное упругое основание заменяется рядом независимых друг от друга упругих опор, жесткость которых зависит от упругих свойств грунта. Грунт считается линейно деформируемым. Связь между давлением в точке «р» и осадкой в точки «у» определяется по формуле (1):

$$p = k_{\text{п}} * y, \quad (1)$$

где  $p$  – давление на грунт [ $\text{Н}/\text{м}^2$ ];  $k_{\text{п}}$  – коэффициент постели грунта, т. е. сила, которую нужно приложить к штампу, чтобы вдавить его в грунт на единицу объема [ $\text{Н}/\text{м}^3$ ];  $y$  – осадка [м].

При расчете свай на горизонтальную нагрузку учитывается отпорность грунта по боковой поверхности сваи. Если грунт по длине сваи неравномерный, то для построения эпюры коэффициента постели выполняют следующие действия:

1. На глубине 3 метра откладывают значение коэффициента постели всех слоев.
2. Полученные точки соединяют с нулем на поверхности и продолжают наклонную прямую до глубины 10 метров, далее вертикально вниз.
3. В пределах каждого слоя грунта берем нужную часть эпюры.

Расчет свай возможно выполнять с учетом только деформаций изгиба, или для большей точности учитывать сдвиговые деформации. Во втором случае в расчетной программе потребуется задать сдвиговую жесткость сечения сваи и коэффициент неравномерности касательных напря-

жений, зависящий от формы сечения. Определим, при каком соотношении параметров сваи учет поперечных сдвигов даст видимое изменение в результатах расчета. Рассмотрим сваи нескольких типоразмеров: поперечное сечение свай варьируется 0,3x0,3; 0,4x0,4; 0,5x0,5; 0,6x0,6; 0,7x0,7. Длина сваи  $l = 15$  м. Горизонтальная нагрузка  $P = 1000$  кН. Грунтовое основание трехслойное. Мощность слоев грунта:  $h_1 = 4$  м,  $h_2 = 5$  м,  $h_3 = 6$  м. Коэффициенты постели для слоев:  $k_1 = 30000$  кН/м<sup>3</sup>,  $k_2 = 60000$  кН/м<sup>3</sup>,  $k_3 = 45000$  кН/м<sup>3</sup>. Модуль упругости бетона  $E_b = 27 \times 10^3$  МПа.

Первоначально выполним расчет сваи с сечением 0,4x0,4. Затем сравним с результатами расчета остальных свай с разными сечениями, при учете сдвига и без учета сдвига.

Расчет для всех сечений выполняем методом перемещений с учетом узлового приложения нагрузки. Основная расчетная формула (2):

$$\|R\| \cdot \{V\} = \{P\} \quad (2)$$

Строим эпюру коэффициента постели трехслойного основания, представлено на рис. 1.

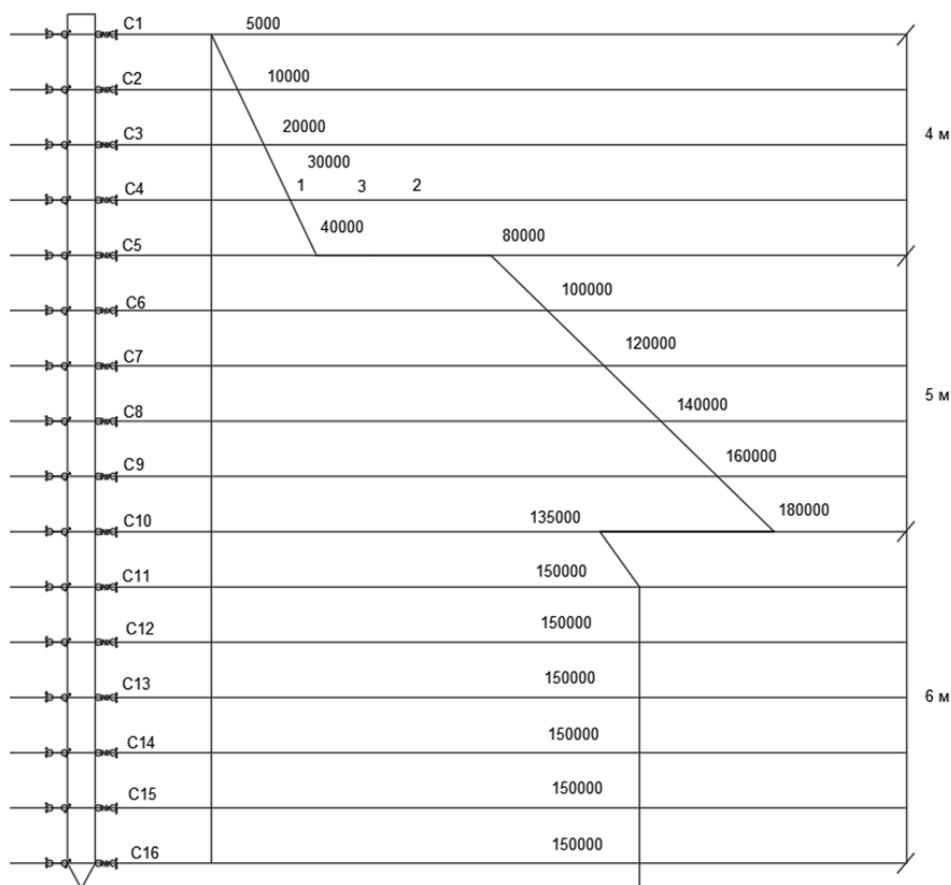


Рис. 1. Расчетная схема сваи и эпюра коэффициента постели трехслойного основания

Определяем условную ширину забивной сваи:

$$b_{\text{усл}} = 0,5 + 1,5d_{\text{св}}, \quad (3)$$

где  $b_{\text{усл}}$  – условная ширина сваи;  $d_{\text{св}}$  – диаметр поперечного сечения сваи.

Шаг упругих опор принимаем равным 1 метру (далее в расчетах будет встречаться шаг 0,5 метра для свай длиной 8 метров и 6 метров).

Жесткости упругих опор вычисляем по формуле:

$$C_i = k_i \cdot l_i \cdot b_{\text{усл}} \quad (4)$$

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 свай.

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

$$EI = E_b \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (5)$$

$$GA = 0,3 \cdot E_b \cdot b \cdot h \quad (6)$$

где  $E_b$  – модуль упругости бетона;  $b$  – ширина поперечного сечения;  $h$  – высота поперечного сечения.

Расчет выполняется по выше приведенным формулам при разной величине сечения свай.

Таблица 1

Значения линейной жесткости упругих опор для свай 0,4x0,4 м  
при коэффициенте постели  $k_n$

Номер опоры	Коэффициент постели, кН/м <sup>3</sup>	Линейная жесткость, кН/м
1	2500	1375
2	10000	11000
3	20000	22000
4	30000	33000
5	80000	44000
6	100000	67375
7	120000	132000
8	140000	154000
9	160000	176000
10	135000	156875
11	150000	165000
12	150000	165000
13	150000	165000
14	150000	165000
15	150000	165000
16	150000	82500

Дальнейший расчет выполняем с помощью программы БУ-2 (автор – Гуляев Е. А. доцент). Для учета деформаций сдвига принимаются коэффициент формы поперечного сечения  $\eta = 1,2$  (с учетом сдвига) и  $\eta = 0$  (без учета сдвига).

Для наглядности результатов построим графики зависимости прогибов и изгибающих моментов от диаметра свай (рис. 2, 3):

Таблица 2

Значения максимальных изгибающих моментов в свае  
от нагрузки  $P = 1000$  кН

Размер сечения сваи, м	$M_{max}, кН*м$		Затухание момента с глубиной С учетом сдвига ( $K = 1,2$ )
	С учетом сдвига ( $K = 1,2$ )	Без учета сдвига ( $K = 0$ )	
0,3*0,3	782,336	784,056	69,4 кН/м (на 4 метрах)
0,4*0,4	1052,35	1056,754	61,9 кН/м (на 6 метрах)
0,5*0,5	1239,599	1244,442	53,3 кН/м (на 7 метрах)
0,6*0,6	1370,102	1375,085	51,7 кН/м (на 8 метрах)
0,7*0,7	1540,964	1549,545	49,7 кН/м (на 9 метрах)

Таблица 3

Значения максимальных поперечных сил в свае от нагрузки  $P = 1000$  кН

Размер сечения сваи	$Q_{max}, кН$	
	С учетом сдвига ( $K = 1,2$ )	Без учета сдвига ( $K = 0$ )
0,3*0,3	782,336	784,056
0,4*0,4	850,364	851,791
0,5*0,5	888,292	889,529
0,6*0,6	911,926	913,028
0,7*0,7	927,846	928,845

Таблица 4

Значения максимального перемещения верха сваи от нагрузки  $P = 1000$  кН

Размер сечения сваи	Перемещение $V_{max}, мм$	
	С учетом сдвига ( $K = 1,2$ )	Без учета сдвига ( $K = 0$ )
0,3*0,3	183,3	181,8
0,4*0,4	108,8	107,8
0,5*0,5	71,5	70,7
0,6*0,6	50,3	49,7
0,7*0,7	37,2	36,7

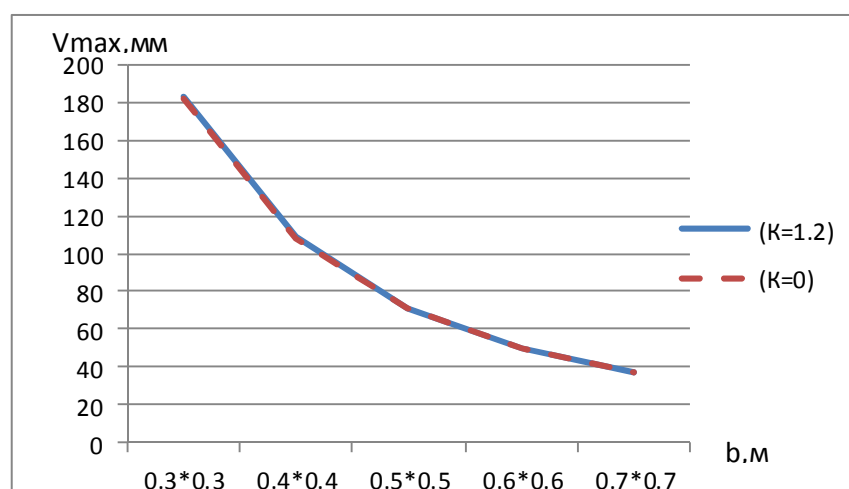


Рис. 2. График зависимости максимального перемещения верха сваи от размеров ее поперечного сечения

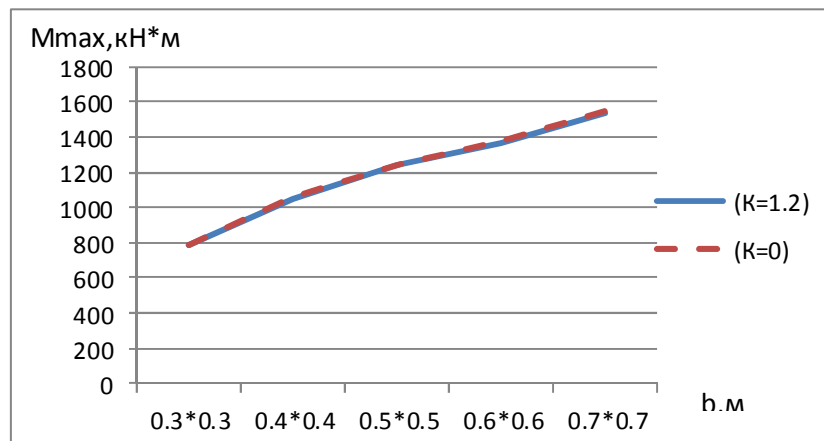


Рис. 3. График зависимости максимального момента сваи от размеров ее поперечного сечения

Производя анализ полученных результатов, приходим к выводу, что для длинных свай учитывать сдвиг даже при большом сечении не имеет смысла. Прогиб сваи при увеличении ее диаметра, как и следовало предполагать, значительно уменьшается. С увеличением диаметра сваи с 0,3 до 0,7 м прогиб уменьшился примерно в 5 раз. Однако более гибкая свая от одной и той же нагрузки испытывает гораздо меньший изгибающий момент. При двукратном увеличении диаметра изгибающий момент вырос практически вдвое! Кроме того, для более гибких свай изгибающий момент быстро затухает и на глубине 4 м составляет уже менее 10 % от максимального значения. С увеличением сечения сваи длина, по которой идет работа сваи на изгиб, тоже растет. То есть зона больших моментов распространяется по длине сваи, достигая при диаметре 0,7 м девятиметровой глубины. Все эти особенности должны быть учтены при проектировании свайных фундаментов.

#### Список литературы

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. М. : Стройиздат, 1985. 480 с.
2. Завьялова О. Б., Кузьмин И. А. Расчет конструкций на упругом основании : учеб.-метод. пособие для студентов строительных специальностей. Астрахань, 2010. 125 с.
3. Завьялова О. Б. Уточнение расчетных усилий в монолитных фундаментных плитах при действии сосредоточенных нагрузок // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 9. С. 24–25.