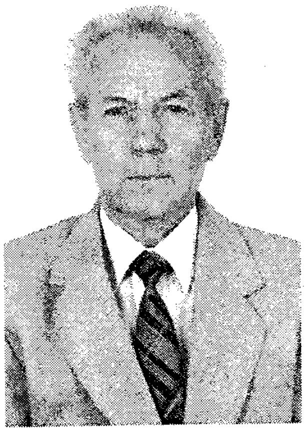
РАСЧЕТ СВАИ НА ДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СИЛ

И. И. Шишов, А. Г. Дашков

Дано решение о продольно-поперечном изгибе стержня, который защемлен верхним и нижним концами и нижней своей частью погружен в песчаную подсыпку. Работа выполнена в связи с проектированием свайных фундаментов для объектов, возводимых в условиях вечной мерзлоты.



Шишов Иван Иванович
Владимир, доцент каф. строительных конструкций ВГУ, к.т.н.

В районах Севера строительство часто ведется на территориях, имеющих песчаную подсыпку. Здание опирается на сваи из металлических труб и для сохранения мерзлоты понимается над поверхностью подсыпки на некоторую высоту открытого продуваемого подполья. В расчетной схеме для сваи может быть принято: нижним концом она защемляется в вечномерзлом грунте, а верхним – в ростверке здания. Свая проходит подсыпку, мощность слоя которой может достигать 7,0 м и продуваемое подполье (1–1,5 м). Большая длина делает ее гибкой; важное значение приобретает определение сопротивление сваи горизонтальным перемещениям при одновременном действии вертикальной и горизонтальной сил. Решение, приведенное в СНиП [1], предназначено для свай постоянного сечения и при определении горизонтальных перемещений действие вертикальной силы не учитывает.

В работе [2] приводится решение задачи продольно-поперечного изгиба стержня методом конечных разностей. Геометрическая нелинейность учитывается при записи дифференциальной зависимости между внутренними силовыми факторами

$$Q = \frac{dM}{dx} - N \cdot \mathrm{tg}\alpha ,$$

где Q, M, N – поперечная сила, изгибающий момент и продольная сила в сечении стержня; α – угол наклона упругой линии к продольной оси x.

В качестве основных неизвестных приняты прогибы стержня V_j в точках $j = 1,2,\ldots n$, нанесенных на стержне с некоторым шагом h. Условие равновесия участка стержня, выделенного в окрестности рядовой точки i, имеет вид

$$\sum a_{ij} V_j = F_i h^3 ,\ j = i-2, i-1, i, i+1, i+2 ,$$

где a_{ij} – коэффициенты, зависящие от изгибных жесткостей стержня, которые для каждой точки j могут иметь свое значение, и продольной сжимающей силы N; F_i – внешняя поперечная сила, приложенная в точке i.

Для проверки алгоритма был решен ряд задач по определению усилий в опорных связях от единичных кинематических воздействий при различных значениях продольной сжимающей силы. При шаге точек, равном 1/20 длины стержня, отклонения от точных значений [3], не превысили 1%. Хорошие результаты получились также при сравнении с точными решениями [4]. Решались также примеры на определение критической силы для центрально сжатого стержня. Описанный метод, видимо, может быть применен к расчету сваи.

В работе [5] рассматривается деформирование балки, опирающейся на грунтовое основание и воспринимающей вертикальную нагрузку Осадки основания определяются методом эквивалентного слоя, предложенным Н.А. Цитовичем, который, по мнению авторов, может быть применен и к основанию, неоднородному в плане. Равномерно распределенная вертикальная нагрузка, действующая на поверхности основани, определяется формулой

$$S = p m_v h_э,$$

где p – интенсивность нагрузки; m_v – коэффициент сжимаемости грунта; $h_э$ – мощность эквивалентного слоя.

Если загруженная площадь имеет вид прямоугольника, то

$$h_э = bA_\omega , \qquad (1)$$

где b – ширина прямоугольника; A_ω – коэффициент эквивалентного слоя.

Величины A_ω могут быть взяты из [6, табл. 11.4] в зависимости от соотношения сторон прямоугольника и коэффициента поперечной деформации грунта v_0.

Для системы «балка–основание» приняты следующие предпосылки: балка деформируется по закону гука; справедлива гипотеза плоских сечений Бернулли; вертикальные перемещения балки и поверхности основания тождественны; действие касательных сил на подошву не учитывается.

Задача решается методом конечных разностей. В качестве основных неизвестны принимаются вертикальные перемещения балки и поверхности основания в точках, намеченных с шагом h по длине балки. Для каждой точки i рассматривается ряд загруженных площадей прямоугольной формы с центром в точке i. Ширина всех площадей одинакова и равна ширине балки, длина $l = h$, $3h$, $5h$,..., т.е. $l = (1 + 2m)h$, $m = 0, 1, 2, \ldots$. Мощности эквивалентного слоя, соответствующие каждой из этих длин, обозначаются через h_m (по значению m). Осадку, возникающую в точке i от нагрузки, распределенной по площади длиной h в окрестности точки $i+m$ (рис. 1), можно определить по формуле

$$S_{i,i+m} = 0{,}5 p_{i+m} m_v (h_v - h_{m-1}), \qquad (2)$$

где p_{i+m} – интенсивность нагрузки в точке $i+m$.

Когда основание слоисто по глубине, формула (1) записывается в виде

$$S = \frac{p\sum_j (m_{vj} h_j z_j)}{2h_э}, \qquad (3)$$

где m_{vj}, h_j – коэффициент сжимаемости и мощность j-го слоя; z_j – расстояние от середины j-го слоя до низа сжимаемой толщи, в качестве которой берется $2_{hэ}$.

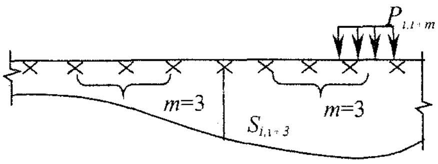


Рис. 1. К определению осадок основания

При этом важно, чтобы суммарная мощность слоев в выражении (3) была равна сжимаемой толще, которую предлагается определять усредненно по формуле

$$2h_э = \frac{2\sum_j \left(h_{эj} \sum_j (h_{эj} h_j) \right)}{\sum_j h_j},$$

где $h_{эj}$ – мощность эквивалентного слоя, определенная по характеристикам j-го слоя.

Когда основание неоднородно по площади, формула (2) заменяется усредненной формулой

$$S_{i,i+m} = \frac{\overset{i}{S}_{i,i+m} + 2\overset{i+1}{S}_{i,i+m} + \ldots + 2\overset{i+m-1}{S}_{i,i+m} + \overset{i+m}{S}_{i,i+m}}{2m},$$

в которой $\overset{i}{S}_{i,i+m}, \overset{i+1}{S}_{i,i+m}, \ldots$ – осадки, определяемые по формуле (2) при характеристиках грунта, взятых в точках i, $i+1$, ….

Для проверки алгоритма расчитывались балки на однородном основании с модулем упругости E_0=50 МПа и коэффициентом поперечной деформации v_0=0,3. Сравнение производилось с решением для балки на упругом полупространстве по М.И. Горбунову-Посадову [7]. В частности были расчитаны две балки одинаковой длины 18 модальное и ширины 2 модальное, нагруженные сосредоточеной силой F в середине, имеющиепоказатели гибкости $r = \frac{\pi E_0 a^3 b}{2(1-v_0^2)EI}$, равные 2 и 10 ($a$ – полудлина, b – полуширина балки). Получилось хорошее совпадение эпюр перемещений, изгибающих моментов и реактивных давлений со стороны основания. В таблице приводятся значения этих величин для середины балки: в числителе – по Горбунову-Посадову, в знаменателе – по описанному алгоритму.

Таблица

Показатель гибкости t	Сила F, мН	Перемещение, см	Моменты, мНм	Реактивные давления, мН/м^2
2	4,0	1,108 / 1,108	7,884 / 8,462	0,293 / 0,266
10	3,0	1,116 / 1,155	3,942 / 4,222	0,340 / 0,322

На основе описанных алгоритмов выполняются расчеты свай на совместное действие вертикальной и горизонтальной сил. Расчетная схема показана на рис. 2.

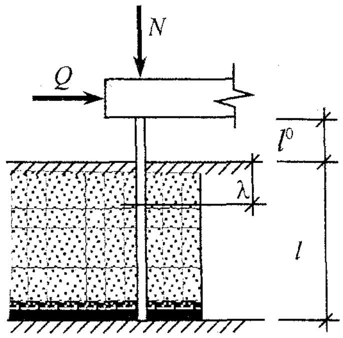


Рис. 2. Расчетная схема сваи: l_0 – высота подполья; l – мощность слоя подсыпки

Литература

1. *СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты / Госсторй СССР – М.. ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.*
2. *Малышев, М.В. Исследование сжатия с изгибом на основе дифференциальных связей между внутренними усилиями. /М.В Малышев, И.И. Шишов //НАСКР – 2001. Материалы Третьей Всероссийской конференции. – Чебоксары, 2001. – С. 81–86.*
3. *Строительная механика: под общей редакцией А.В. Даркова. – М.. Высшая школа. 1976. – С. 499–500.*
4. *Прочность, устойчивость, колебания. Том 1 / под общей редакцией И.А. Биргера и Я.Г Пановко. – М..Машиностроение, 1968. – С. 229–238.*
5. *Дашков, А.Г Определение осадок грунтового основания при расчете балок / А.Г Дашков, И.И. Шишов// Итоги строительной науки: материалы IV международой научно-технической конференции. – Владимир, 2005. – С. 14–18.*
6. *Веселов, В.А. Проектирование оснований и фундаментов./ В.А. Веселов – М.. Стройиздат, 1990. – 304 с.*
7. *Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании. – 3-е изд., перераб. и доп./ М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин.. – М.. Стройиздат, 1984. – 679 с., ил.*