

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ СВАЙ ПО ЗАДАНЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ И ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКЕ

Вступление.

Достоверность определения напряженно-деформированного состояния свай во многом зависит от правильности определения значений коэффициента жесткости основания и от закономерностей его изменения по глубине. В современных нормах [1] рекомендована расчетная модель основания с линейно возрастающей по глубине жесткостью. Однако некоторые экспериментально-теоретические исследования позволяют скорректировать положения действующих норм.

Исследования, проведенные К.С. Завриевым и Г.С. Шпиро [5] показали, что модель Винклера при принятии экспериментально обоснованного закона распределения коэффициента постели $C(z)$ дает близкие к реальным значения усилия и перемещений в свайных фундаментах.

Филатов А.В., Прохоров И.Я., Гуслистая Ж.В. [11], [12] провели ряд экспериментальных исследований эпюр реактивного давления грунта и перемещений свай при горизонтальных и моментных нагрузках. Анализируя результаты экспериментов (рис. 1), Филатов А.В. сделал следующие выводы:

- зависимость между коэффициентом жесткости основания K и глубиной z нелинейная, а функция $K=f(z)$ имеет ярко выраженный выпуклый характер. А при значительных перемещениях свай, когда вблизи поверхности возникает зона предельного равновесия, эпюра его имеет вогнутое очертание;

- с увеличением горизонтальной нагрузки Q на сваю коэффициент K уменьшается;

- при равных горизонтальных силах для свай с различной шириной поперечного сечения значения K не одинаковы.

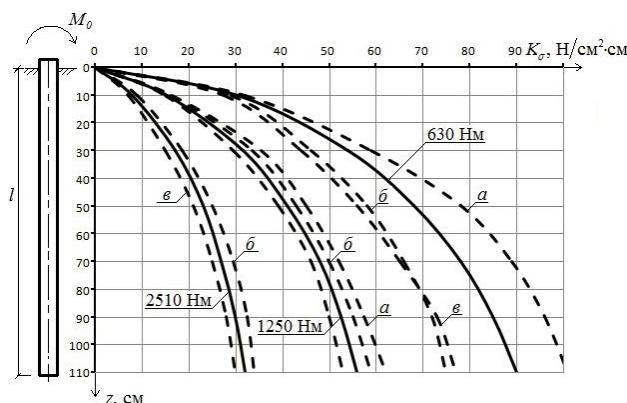


Рис. 1. Эпюры коэффициента жесткости основания металлических свай, воспринимающих моментные нагрузки:

a – сваи сечением из 2L 50x5 мм; *b* – то же, 2L 100x8мм; *v* – то же, 2L 125x10мм

С помощью приведенного анализа [12] результатов экспериментов авторами была получена эмпирическая формула коэффициента постели при работе свай на моментные нагрузки, и также приведены сравнения эпюр коэффициента постели, полученных экспериментальным путем, на рис. 1. обозначенных пунктирной линией, и по эмпирической формуле, на рис. 1 обозначены сплошной линией.

Шеменковым Ю.М. и Миткиной Г.В. [13] в Уфимском НИИПромстрое были проведены экспериментальные исследования односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения для уточнения расчетной схемы фундамента на действие вертикальной и горизонтальной нагрузок и разработка метода расчета их несущей способности с использованием данных статического зондирования. Авторы пришли к выводу, что изменение коэффициента постели пропорционально глубине не подтверждается экспериментами, и предложили рассматривать сваю, заглубленную в основание, со ступенчатой эпюрой коэффициента постели, который предлагают определять по формуле с использованием

данных статического зондирования грунта.

Таким образом, нет единого мнения по вопросу о закономерности изменения коэффициента постели с глубиной [6], [10], [11], [13]. А исследования по определению закономерностей распределения коэффициента постели вдоль свай на основе экспериментальных данных о деформациях и соответствующей им нагрузке не проводились.

Цель и задача.

Выявить закономерность распределения коэффициента жесткости вдоль оси сваи по заданным деформациям и внешним нагрузкам.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ существующих моделей системы «горизонтально нагруженная свая-грунт» и экспериментальных лабораторных и натурных исследований;

- разработка и создание экспериментальных лотков и образцов моделей свай с проведением лабораторных испытаний по выявлению закономерностей распределения жесткости основания по глубине их заделки [3];

- получение решения обратной задачи определения жесткости основания и напряженного состояния горизонтально нагруженных свай по заданным деформациям и внешней нагрузке.

Результаты исследования.

Нами разработан метод определения распределения коэффициента жесткости снования по глубине, исходя из экспериментальных величин горизонтальных перемещений горизонтально загруженных свай.

Порядок расчета заключается в следующем. Как и в рассмотренной ранее задаче [7], сваю длиной l разбиваем на равные

участки, в серединах которых ставим жесткие стержни, обеспечивающие контакт сваи с грунтом (рис. 2). Горизонтальные перемещения u_k в этих точках получены из экспериментальных исследований.

Система канонических уравнений представляет собой условия равенства нулю суммы перемещений по направлению каждой единичной силы X_k :

$$X_0 \cdot \delta_{k0} + X_1 \cdot \delta_{k1} + X_2 \cdot \delta_{k2} + \dots + X_k \cdot \delta_{kk} + \dots + X_n \cdot \delta_{kn} - \omega_0 - a_k \cdot \varphi_0 + \Delta_{kp} = 0. \quad (1)$$

Кроме того, используются два уравнения равновесия. Одно выражает условие равенства нулю суммы моментов всех сил относительно точки O , а второе – равенство нулю суммы проекций всех сил на ось, параллельную этим силам

$$\left. \begin{aligned} X_0 + X_1 + X_2 + \dots + X_k + \dots + X_n - \sum Q = 0 \\ X_0 a_0 + X_1 a_1 + \dots + X_k a_k + \dots + X_n a_n - \sum M = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Система решается относительно неизвестных C_k .

С учетом

$$X_k = u_k \cdot \lambda \cdot b_p \cdot C_k; \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ki} = V_{kk} + w_{ki} = \frac{1}{\lambda \cdot b \cdot C_k} + \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \overline{\omega_{ki}}, \quad (\text{при } k=i); \\ \delta_{ki} = w_{ki} = \frac{\lambda^3}{6 \cdot EI} \cdot \overline{\omega_{ki}}, \quad (\text{при } k \neq i); \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

система канонических уравнений запишется следующим образом

$$A \cdot \begin{pmatrix} C_0 \\ C_1 \\ \dots \\ C_n \\ \omega_0 \\ \varphi'_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\Delta_{0p} \\ -\Delta_{1p} \\ \dots \\ -\Delta_{np} \\ \sum Q / (\lambda \cdot b) \\ \sum M / (\lambda^2 \cdot b) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где A – квадратная матрица:

$$A = \begin{vmatrix} u_0 \cdot \left(\overline{\omega_{00}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b} \right) & u_1 \cdot \overline{\omega_{01}} & \dots & u_n \cdot \overline{\omega_{0n}} & 1 & a_0 \\ u_0 \cdot \overline{\omega_{10}} & u_1 \cdot \left(\overline{\omega_{11}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b} \right) & \dots & u_n \cdot \overline{\omega_{1n}} & 1 & a_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_0 \cdot \overline{\omega_{n0}} & u_1 \cdot \overline{\omega_{n1}} & \dots & u_n \cdot \left(\overline{\omega_{nn}} + \frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b} \right) & 1 & a_n \\ u_0 \cdot 1 & u_1 \cdot 1 & \dots & u_n \cdot 1 & 0 & 0 \\ u_0 \cdot a_0 & u_1 \cdot a_1 & \dots & u_n \cdot a_n & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (5)$$

Отметим, что получаемые из решения системы (4) значения ω_0 и φ_0 увеличены в $\frac{6 \cdot EI}{\lambda^4 \cdot b}$ раз, где C_k – коэффициент жесткости основания в точке К, тс/м²; ω_0 – горизонтальное перемещение в месте условной заделки; φ_0 – угол поворота условной заделки; Δ_{np} – грузовые перемещения от внешних сил; u_k – заданное горизонтальное перемещение сваи, м; a_k – расстояние от точки К до условной заделки; $\overline{\omega_{ki}}$ – единичные прогибы балки в точке К от силы X_k , затабулированные в [4].

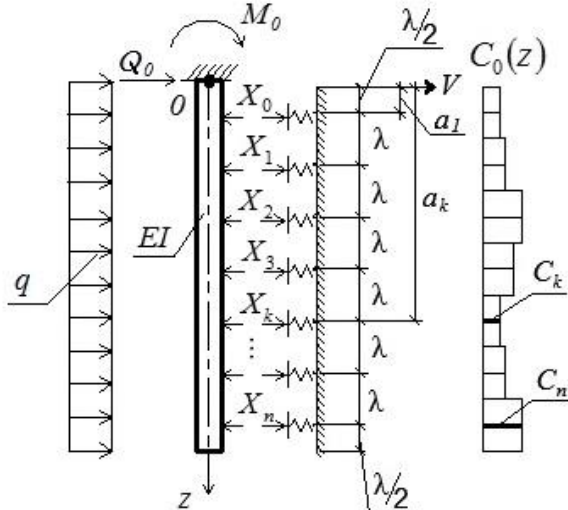


Рис. 2. Расчетная схема поперечно нагруженной сваи

После определения коэффициентов жесткости основания не составляет труда вычислить значения изгибающих моментов, горизонтальных сил и отпора грунта по глубине сваи.

Пример расчета

Покажем, как вычисляются коэффициенты уравнений.

Рассмотрим экспериментальные исследования свай в слабых грунтах, проведенных лабораторией фундаментов и подземных сооружений Харьковского ПромстройНИИпроекта А.Н. Довгим и Г.С. Лекумовичем под руководством Лучковского И.Я. [8, 9].

На экспериментальной площадке г. Первомайска, Харьковской области были проведены испытания горизонтально нагруженных металлических свай сечением 30x30 см, погруженных в грунт на глубину 6 м.

Приступая к решению задачи, необходимо разбить сваю на участки. Практически достаточно от 6 до 10 участков. Составляя уравнения для свай с количеством участков $n=10$ и условным закреплением в уровне поверхности грунта, из (4) получим следующую систему

$$A \cdot \begin{vmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \\ C_7 \\ C_8 \\ C_9 \\ \omega_0 \\ \varphi_0' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \sum Q / (0.6 \cdot 0.95) \\ \sum M / (0.6^2 \cdot 0.95) \end{vmatrix},$$

где A – квадратная матрица запишется с учетом единичных прогибов $\overline{\omega_{ki}}$ от сосредоточенных сил из таблицы IV [4]:

$$A = \begin{pmatrix} m_{00} & m_{01} & \dots & m_{09} & 1 & a_0 \\ m_{10} & m_{11} & \dots & m_{19} & 1 & a_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{90} & m_{91} & \dots & m_{99} & 1 & a_n \\ u_0 & u_1 & \dots & u_n & 0 & 0 \\ u_0 \cdot a_0 & u_1 \cdot a_1 & \dots & u_n \cdot a_n & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

На основе экспериментальных исследований [2] получим горизонтальные перемещения u_k в каждой точке:

- $u_0 = 0.01480;$
- $u_1 = 0.00866;$
- $u_2 = 0.00398;$
- $u_3 = 0.00115;$
- $u_4 = -0.0001;$
- $u_5 = -0.00037;$
- $u_6 = -0.00025;$
- $u_7 = -0.00009;$
- $u_8 = -0.00001;$
- $u_9 = 0.000018.$

Далее запишем элементы матрицы m_{ki} и a_k с учетом горизонтальных перемещений u_k и единичных прогибов $\overline{\omega}_{ki}$ из [4].

И решив полученную систему уравнений, получим

- $C_0 = 523.69;$
- $C_1 = 216.15;$
- $C_2 = 1909.29;$
- $C_3 = 2482.84;$
- $C_4 = 6618.26;$
- $C_5 = 6304.97;$
- $C_6 = 9321.62;$
- $C_7 = 12035.71;$
- $C_8 = 17221.5;$
- $C_9 = 27338.28;$
- $\omega_0 = -121.06;$
- $\varphi_0 = 45.61.$

На рис. 3 даны результаты расчета свай. Приведены эпюры распределения коэффициента жесткости и изгибающих моментов, полученных с учетом значений горизонтальных деформаций по глубине свай.

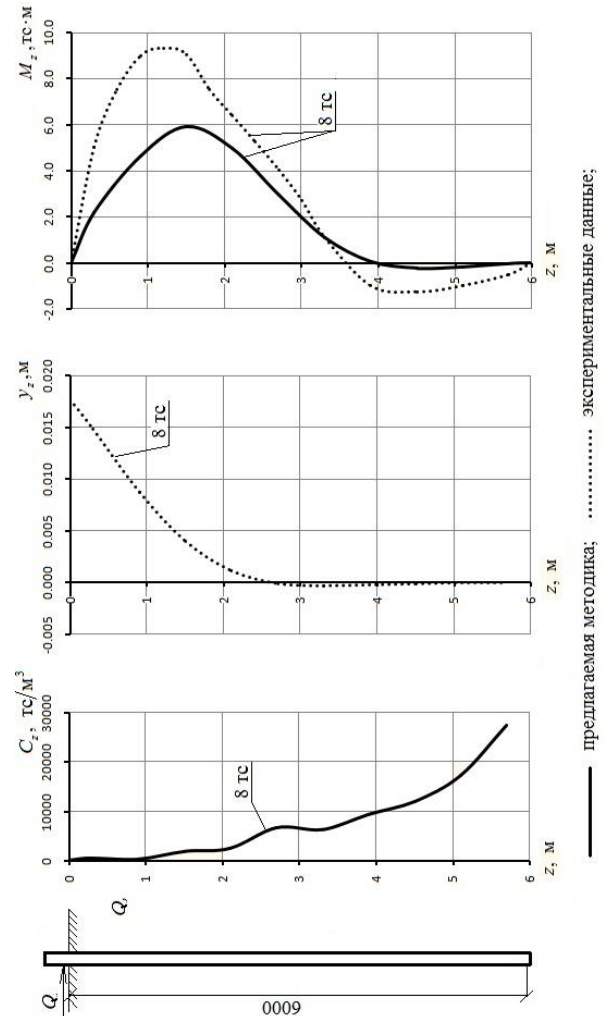


Рис.3. Значения коэффициента жесткости грунта C_z , площадка №2 (металлические сваи) к примеру расчета
Графики зависимости $C_z=f(z)$ при $Q=8$ тс, $y_z=f(Q)$, эпюры изгибающих моментов в функции от внешней нагрузки $M_z=f(Q)$

Как можно заметить, полученная эпюра коэффициента жесткости по глубине свай при данных грунтовых условиях имеет вогнутый характер.

Выводы.

Решена обратная задача определения жесткости основания и напряженного состояния горизонтально нагруженных свай по заданным (экспериментальным) деформациям и внешней нагрузке. На основе результатов экспериментальных исследований для разных видов грунтов выявлены различные с ДБН [1] законы изменения коэффициента жесткости основания по глубине.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ДБН В.2.1-10-2009. Зміна №1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 57 с.
2. Довгий А.Н. Продольно-поперечный изгиб стержней в упругоподатливой среде с учетом физической нелинейности материала: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.03 / Довгий Алексей Николаевич. – Харьков, 1984. – 193 с.
3. Есакова С.В. Исследование напряженно-деформированного состояния горизонтально нагруженных моделей свай в песчаном основании / С.В. Есакова, И.Я. Лучковский // Науковий вісник будівництва. – 2011. – Вип.65. – С. 220 - 225.
4. Жемочкин Б.Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б.Н. Жемочкин, А.П. Синецын. – М.: Госстройиздат, 1962. – 239 с.
5. Завриев К.С. Исследование несущей способности фундаментов опор контактной сети / К.С. Завриев, Е.П. Крюков, Г.С. Шпиро // Труды всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства. – 1960. – Вып. 39. – С. 23 – 31.
6. Лундин Л.Ш. Экспериментальная проверка линейной и нелинейной методик расчета свай и ростверков на горизонтальную нагрузку / Л.Ш. Лундин // Известия ВУЗов. «Строительство и архитектура». – 1978. – № 5. – С. 20 – 23.
7. Лучковский И. Экспериментальное обоснование расчетной модели горизонтально нагруженных свай с экспоненциальным распределением коэффициента жесткости основания / И. Лучковский, С. Есакова // MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2014. – Vol. 16., No 6. – С. 109 – 116.
8. Лучковский И.Я. Взаимодействие конструкций с основанием / Лучковский И.Я. – Х.: Изд-во ХГПУ, 2000. – 264 с.
9. Лучковский И.Я. Работа свай на горизонтальную нагрузку в просадочных грунтах / И.Я. Лучковский, Г.С. Лекумович // Сб. Харьковского ПромстройНИИпроекта «Расчет конструкций подземных сооружений». – 1976. – С. 71 – 74.
10. Миронов В.В. О расчете свай конечной длины на горизонтальные нагрузки / В.В. Миронов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1973. – № 1. – С. 3 – 6.
11. Филатов А.В. Об эпюре изменения коэффициента постели при работе свай на моментные нагрузки / А.В. Филатов, И.Я. Прохоров, Ж.В. Гуслистая // Известия ВУЗов «Строительство и архитектура». – 1978. – № 12. – С. 52 – 54.
12. Филатов А.В. Экспериментальные исследования эпюр реактивного давления грунта и перемещений свай при горизонтальных нагрузках / А.В. Филатов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1977. – № 1. – С. 32 – 34.
13. Шеменков Ю.М. Экспериментальные исследования односвайных фундаментов / Ю.М. Шеменков, Г.В. Миткина // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1993. – № 2. – С. 12 – 16.

УДК 69.059.7

Броневицький А.П.,

Київський національний університет будівництва та архітектури

Гречко Н.В.,

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Вступ. Ревіталізація промислових будівель під об'єкти цивільного призначення останнім часом набуває все більшого розмаху. Як свідчить досвід об'єкти ревіталізації переважно розташовані в центральних, забудованих частинах міст. В зв'язку

з цим, дані об'єкти мають суттєву комерційну й інвестиційну привабливість. Однак, вказані будівлі оточені існуючою забудовою, різними інженерними спорудами та мережами. Все це створює складні