

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОНАБИВНОЙ СВАИ В НЕСВЯЗНОМ ГРУНТЕ

ПОПОВ О.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Алгоритм решения задачи, основанный на дилатантной теории прочности несвязного грунта [1], включает рассмотрение нескольких типов расчетных схем, описывающих распределение внешней нагрузки между боковой поверхностью и пятой сваи с целью определения ее несущей способности при заданной осадке. Методика расчета предельной несущей способности сваи базируется на определении средних предельных значений сопротивления дилатирующего несвязного грунта сдвигу по боковой поверхности $\bar{\tau}_{lim}$ и под пятой \bar{R}_{lim} , соответствующих незатухающей осадке сваи S_{lim} .

Предельная несущая способность сваи F_{lim} в однородном несвязном грунте определяется по формуле:

$$F_{lim} = F_s \lim + F_p \lim = A_s \bar{\tau}_{lim} + A_p \bar{R}_{lim} = \pi DL \bar{\tau}_{lim} + \frac{\pi D^2}{4} \bar{R}_{lim}, \quad (1)$$

где $F_s \lim, F_p \lim$ – предельная несущая способность сваи по боковой поверхности и под пятой соответственно;

A_s, A_p – площадь боковой поверхности и пяты сваи соответственно;

D, L – диаметр и длина сваи соответственно.

В основе дилатантной теории прочности несвязного грунта в условиях стесненного разрушения применительно к расчету сваи лежит известный закон Кулона:

$$\tau_{lim} = \sigma_0 \operatorname{tg} \varphi + \tau_d. \quad (2)$$

где σ_0 – начальные нормальные напряжения в плоскости сдвига несвязного грунта;

φ – угол внутреннего трения грунта;

τ_d – дилатантная связность несвязного грунта, обусловленная проявлением дополнительных нормальных напряжений при сдвиге.

Величину дилатантной связности грунта τ_d согласно проведенным автором исследованиям вне зависимости от действующего диаметра частиц несвязного грунта d_{50} , его коэффициента пористости e , коэффициента Пуансона ν и модуля деформации (упругости) E , а также геометрических размеров сваи, рекомендуется определять по результатам статистической обработки экспериментальных данных методом искусственных нейронных сетей [2].

Несущая способность сваи при заданной ее осадке S_i может быть представлена зависимостью, аналогичной (1):

$$F_i = F_{Si} + F_{pi} = \pi DL\bar{\tau}_i + \frac{\pi D^2}{4}\bar{R}_i, \quad (3)$$

где F_{Si}, F_{pi} – несущая способность сваи по боковой поверхности и под пятой при заданной ее осадке S_i соответственно;

$\bar{\tau}_i$ – среднее сопротивление грунта сдвигу по боковой поверхности сваи, соответствующее заданной осадке сваи S_i ;

\bar{R}_i – среднее сопротивление грунта под пятой сваи, соответствующее заданной осадке сваи S_i .

С ростом внешней вертикальной нагрузки в окружающем сваю несвязном грунте происходят сдвиговые деформации, вызывающие рост касательных напряжений по ее боковой поверхности τ_i , которые могут развиваться до определенного значения τ_{lim} , вызывающего переход грунта в состояние предельного равновесия. По мере роста касательных напряжений τ_i и проявления осадки S_i , часть внешней нагрузки начинает восприниматься пятой сваи. При достижении касательными напряжениями τ_i своего предельного значения τ_{lim} , оставшаяся внешняя нагрузка будет восприниматься только грунтом основания под пятой сваи. При достижении предельного сопротивления грунта R_{lim} под пятой сваи ее осадка становится незатухающей.

Согласно предложенному методу расчета среднее текущее сопротивление грунта сдвигу $\bar{\tau}_i$ по боковой поверхности сваи при заданной ее осадке S_i и известном среднем предельном его значении $\bar{\tau}_{lim}$ определяется по формуле:

$$\bar{\tau}_i = \bar{\tau}_{lim} (0.627 \ln S_i + 0.069). \quad (4)$$

Среднее текущее сопротивление грунта под пятой сваи \bar{R}_i при заданной ее осадке S_i и известном среднем предельном значении сопротивления грунта под пятой \bar{R}_{lim} определяется как:

$$\bar{R}_i = \frac{\bar{R}_{lim} E S_i}{0.79 \bar{R}_{lim} (1+\nu) D + E S_i}, \quad (5)$$

где E, ν – модуль упругости и коэффициент Пуансона несвязного грунта под пятой сваи.

Таким образом, несущую способность сваи на вертикальную нагрузку при заданной осадке можно определять по зависимости (2) с учетом (4) и (5) как:

$$F_i = \pi D L \bar{\tau}_{lim} (0.627 \ln S_i + 0.069) + \frac{\pi D^2}{4} \frac{\bar{R}_{lim} E S_i}{0.79 \bar{R}_{lim} (1+\nu) D + E S_i}. \quad (6)$$

На рис. 1 приведены графики осадки одной из шести опытных свай (свай №57), выполненных и испытанных группой геотехнических компаний «Спецгеострой» при устройстве свайного поля многоэтажного жилого дома со встроенными помещениями и подземной гараж-стоянкой по ул. Корж-Саблина в городе Минске.

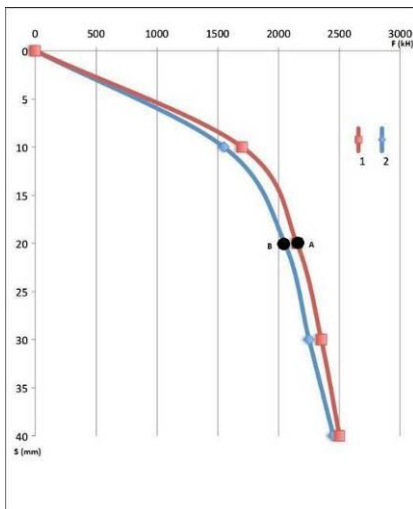


Рис. 1. Графики зависимости осадки опытной сваи №57 ($L=10\text{м}$, $D=530\text{мм}$), выполненной по технологии с использованием обсадных труб: 1 – по результатам статического испытания; 2 – по предлагаемому методу расчета

Сопоставление полученных графиков на рис. 1 указывает на достаточно хорошую их сходимость. Точки А и Б на рис. 1 представляют значения несущей способности свай, определенные по нормативным расчетным сопротивлениям (3) и динамическому зондированию (5) шпунтов основания, которые также достаточно близки к фактической несущей способности свай. Однако эти методы не позволяют построить графики в формате «нагрузка-осадка», имеют неопределенность в понимании соответствия получаемых результатов несущей способности величине заданной осадки. Методы основаны на результатах статистической обработки большого количества испытаний свай с целью получения расчетных сопротивлений грунтов, необоснованных с точки зрения классических закономерностей механики грунтов.

Выводы:

1. Предлагаемый инженерный метод расчета может использоваться для прогнозирования несущей способности свай, разработки проектного решения свайного поля и приближенной стоимостной оценки строительно-монтажных работ нулевого цикла. Метод учитывает физическую дилатантную природу поведения несвязного грунта под нагрузкой и позволяет рассчитать несущую способность свай в зависимости от физико-механических и деформационных свойств грунта, геометрических размеров свай и технологии ее изготовления. При этом метод не требует трудноопределяемых параметров для проведения расчета.

2. Алгоритм решения задачи по определению несущей способности свай в зависимости от ее осадки учитывает перераспределение усилий между боковой поверхностью и пятой свай для всего диапазона нагрузок, что невозможно смоделировать традиционными методами расчета по расчетным сопротивлениям и результатам динамического зондирования грунтов основания.

3. Результаты расчета по всем рассмотренным методам хорошо согласуются с данными испытаний опытных свай, однако единственным наиболее достоверным методом определения несущей способности свай являются их статические испытания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболевский, Д. Ю. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта / Д. Ю. Соболевский. Минск: Навука і тэхніка, 1994. 232 с.
2. Попов, О.В. Определение предельного сопротивления дилатирующего грунта сдвигу при помощи искусственных нейронных сетей / О.В. Попов, Ю.Б. Попова, С.В. Яцынович // Наука и техника. 2018. №17(6). С. 471–477.
3. 3. Проектирование и устройство буронабивных свай: Пособие П13-01 к СНБ 5.01.01-99. Минск: Минстройархитектуры, 2002. 43 с.
4. 4. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов: Пособие П-2000 к СНБ 5.01.01-99. Минск: Минстройархитектуры, 2001. 23 с.