Мамедов А. Дж., докторант
Азербайджанский архитектурно-строительный университет

О МЕТОДЕ РАСЧЕТА АБСОЛЮТНО - ЖЕСТКИХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК С УЧЕТОМ ЛОБОВОГО И БОКОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ГРУНТА

ahad.mamedov@rambler.ru

Ниже на основании модели Фусса – Винклера, характеризуемой параметрически - нелинейным законом изменения коэффициента жесткости грунта по глубине и закона Кулона о предельном сопротивлении грунтов сдвигу рассматривается расчет абсолютно - жестких призматических свай на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок с учетом лобового и боковых сопротивлений грунта. В результате получены значения изгибающих моментов и перерезывающих сил в произвольных сечениях абсолютно - жесткой сваи. А также определены положения точки нулевого перемещения сваи от поверхности основания неизвестных начальных параметров (Y_0 и θ_0) и значений продольных критических нагрузок.

Ключевые слова: *грунтовая среда, закон Кулона о предельном сопротивлении грунтов сдвигу, параметрически - нелинейный закон изменения коэффициента жесткости грунта по глубине, абсолютно - жесткий призматический свай, лобовой и боковые сопротивления грунта, модель Фусса - Винклера.*

Данные конструкции широко применяются в основаниях морских стационарных платформ. Они обеспечивают сейсмостойкость и безопасность этих сооружений, возводимых на нескальных основаниях. Сваи, подверженные горизонтальным и вертикальным нагрузкам применяются также в основаниях водосливных и гравитационных плотин, подверженных сейсмическим воздействиям.

Расчетная схема рассматриваемой статически контактной задачи показана на рисунке 1. Согласно рис. 1 на уровне поверхности основания к верхнему концу призматической сваи приложены вертикальная N, горизонтальная Q_0 нагрузки и сосредоточенный момент M_0. Под действием приложенных нагрузок абсолютно - жесткая свая поворачиваясь вокруг некоторой точки D расположенных на глубине h_0 от поверхности основания получает горизонтальные перемещения $Y(x)=Y_0 - \theta_0 x$. Таким образом первоначальная прямолинейная ось сваи ODB переходит на $O_1D_1B_1$.

Интенсивность лобового сопротивления грунта определяется по формуле:

$$q_l(x) = -K(x)Y(x) = -K_h\left(\frac{x}{h}\right)^{\beta}\left(Y_0 - \theta_0 x\right) = -K_h Y_0\left(\frac{x}{h}\right)^{\beta} + K_h\theta_0\frac{x^{\beta+1}}{h}, \qquad (1)$$

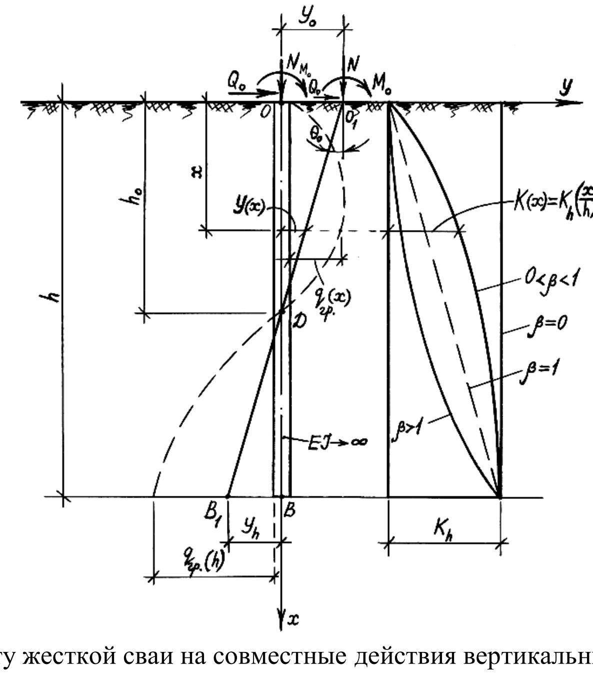

Рис. 1. Схема к расчету жесткой сваи на совместные действия вертикальных и горизонтальных сил

Интенсивность боковых сопротивлений грунта выражается в виде следующей зависимости:

$$q_b(x) = -2\left[q_{qr}(f) + q_{qr}(c)\right]\left(Y_0 - \theta_0 x\right) = \\ = -2\left(\xi\gamma x tg\phi + c\right)\left(Y_0 - \theta_0 x\right) = \\ = -2\left(Y_0\xi\gamma tg\phi - \theta_0 c\right)x + 2\theta_0\xi\gamma x^2 tg\phi - 2Y_0 c \quad (2)$$

$q_{qr}(c)$ – интенсивность сопротивления грунта на сцепления.

Перерезывающая сила в произвольном сечении сваи от интенсивности лобового сопротивления грунты определяется по формуле [1]:

$$Q_l(x) = \int_0^x q_l(z)dz = \\ = \int_0^x \left[-K_h Y_0\left(\frac{z}{h}\right)^{\beta} + K_h\theta_0 \cdot \frac{z^{\beta+1}}{h}\right]dz = \\ = -K_h Y_0 \cdot \frac{1}{\beta+1} \cdot \frac{x^{\beta+1}}{h^{\beta}} + K_h\theta_0 \cdot \frac{x^{\beta+2}}{(\beta+2)\cdot h^{\beta}} \quad (3)$$

Изгибающий момент в произвольном сечении жесткой сваи от лобового сопротивление грунта определяется по формуле:

$$M_l(x) = \int_0^x q_l(z)(x-z)dz = \\ = \int_0^x \left[-K_h Y_0\left(\frac{z}{h}\right)^{\beta} + K_h\theta_0 \cdot \frac{z^{\beta+1}}{h^{\beta}}\right](x-z)dz = \\ = -K_h Y_0 \cdot \frac{x^{\beta+2}}{(\beta+1)(\beta+2)\cdot h^{\beta}} + K_h\theta_0 \cdot \frac{x^{\beta+3}}{(\beta+2)(\beta+3)\cdot h^{\beta}} \quad (4)$$

Значения поперечных сил и изгибающих моментов в произвольных сечениях опоры от интенсивности бокового сопротивления грунта определяется следующими выражениями [2]:

$$Q_b(x) = \int_0^x q_b(z)dz = \\ = \int_0^x \left[2\theta_0\xi\gamma z^2 tg\phi - 2\left(Y_0\xi\gamma tg\phi - \theta_0 c\right)z - 2Y_0 c\right]dz = \\ = 2x\left[\theta_0\xi\gamma\frac{x^2}{3}tg\phi - \left(Y_0\xi\gamma tg\phi - \theta_0 c\right)\frac{x}{2} - Y_0 c\right] \quad (5)$$

$$M_b(x) = \int_0^x q_b(z)(x-z)dz = \\ = \int_0^x \left[2\theta_0\xi\gamma z^2 tg\phi - 2\left(Y_0\xi\gamma tg\phi - \theta_0 c\right)z - 2Y_0 c\right]\times \\ \times(x-z)\,dz = \\ = x^2\left[\theta_0\xi\gamma x^2 tg\phi - \frac{1}{3}\left(Y_0\xi\gamma tg\phi - \theta_0 c\right)x - Y_0 c\right] \quad (6)$$

Для определения неизвестных начальных параметров Y_0 и θ_0, воспользуемся следующими двумя условиями равновесия относительно точки B_1:

$$\begin{cases} \sum M_{B_1} = M_0 + Q_0 h + Nh\theta_0 + q_G\frac{h^2}{2}\theta_0 + M_A(h) + M_b(h) = \\ = M_0 + Q_0 h + Nh\theta_0 + q_G\frac{h^2}{2}\theta_0 - K_h Y_0 \cdot \frac{h^2}{(\beta+1)(\beta+2)} + \\ + K_h\theta_0 \cdot \frac{h^3}{(\beta+2)(\beta+3)} + h^2\left[\theta_0\xi\gamma h^2 tg\varphi - \frac{1}{3}\left(Y_0\xi\gamma tg\varphi - \theta_0 c\right)h - Y_0 c\right] = 0; \\ \sum Q_{B_1} = Q_0 + Q_l(h) + Q_b(h) = Q_0 - K_h Y_0 \cdot \frac{h}{\beta+1} + K_h\theta_0 \cdot \frac{h^2}{\beta+2} + \\ + 2h\left[\theta_0\xi\gamma\frac{h^2}{3}tg\varphi - \left(Y_0\xi\gamma tg\varphi - \theta_0 c\right)\frac{h}{2} - Y_0 c\right] = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Решая системы уравнений (7), находим значения Y_0 и θ_0:

$$Y_0 = \frac{BQ_0 - D(M_0 + Q_0 h)}{AD - BC};\ \theta_0 = \frac{C(M_0 + Q_0 h) - AQ_0}{AD - BC}, \quad (8)$$

где:

$$\begin{cases} A = -\dfrac{K_h h^2}{(\beta+1)(\beta+2)} - h^2\left(\dfrac{1}{3}\gamma\xi htg\varphi + c\right); \\ B = Nh + \dfrac{K_h h^3}{(\beta+2)(\beta+3)} - h^2\left(\xi\gamma h^2 tg\varphi + \dfrac{1}{3}ch + \dfrac{1}{2}q_G\right); \;\; q_G = \dfrac{G}{h} \\ C = -\dfrac{K_h h}{\beta+1} - h(\xi\gamma htg\varphi + 2c); \\ D = \dfrac{1}{\beta+2}K_h h^2 + 2h\left(\dfrac{1}{3}\xi\gamma h^2 tg\varphi + \dfrac{1}{2}ch\right). \end{cases} \tag{9}$$

G и h – вес и длина свайной опоры.

При известных значениях параметров Y_0 и θ_0, глубина точки с нулевым перемещением опоры (рис. 1), согласно выражениям (8) принимает следующий вид:

$$h_0 = \frac{Y_0}{\theta_0} = \frac{BQ_0 - D(M_0 + Q_0 h)}{C(M_0 + Q_0 h) - AQ_0}. \tag{10}$$

Для определения значения продольной критической силы детерминанты системного управления

$$\left.\begin{aligned} AY_0 + B\theta_0 &= -M_0 - Q_0 h; \\ CY_0 + D\theta_0 &= -Q_0. \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

Составленные из коэффициентов при неизвестных начальных параметрах (Y_0 и θ_0) приравниваем к нулю:

$$\begin{vmatrix} A; & B \\ C; & D \end{vmatrix} = 0 \tag{12}$$

С учетом принятых обозначений (9) раскрывая детерминант (12), получим:

$$AD–BC=0. \tag{13}$$

Согласно этому выражению

$$N_{кr} = \frac{\beta+1}{K_h + (\beta+1)(\xi\gamma htg\phi + 2c)} \cdot \left[\frac{K_h h^2}{\beta+2}\cdot\left(\frac{K_h}{(\beta+1)(\beta+2)} + \frac{\frac{1}{3}\xi\gamma htg\phi + \frac{1}{2}c}{\beta+1} + \right.\right.$$
$$\left. + \frac{1}{3}\xi\gamma htg\phi + c\right) + 2h^2\left(\frac{1}{3}\xi\gamma htg\phi + c\right)\left(\frac{1}{3}\xi\gamma htg\phi + \frac{1}{2}c\right) - \frac{K_h h^2}{(\beta+2)(\beta+3)} \times \tag{14}$$
$$\left. \times\left(\frac{K_h}{\beta+1} + \xi\gamma htg\phi + 2c\right) - h\left(\xi\gamma h^2 tg\phi + \frac{1}{3}ch + \frac{1}{2}q_G\right)\left(\frac{K_h}{\beta+1} + \xi\gamma htg\phi + 2c\right)\right]$$

В частном случае, если интенсивность бокового сопротивления грунта $q_b(x)=0$ и параметр нелинейности $\beta=0$, тогда выражения для критической силы согласно (14) примет вид:

$$N_{кр} = \frac{1}{12}K_h h^2 - 0,5G. \tag{15}$$

Если также в этом случае параметр нелинейности будет $\beta=1$, то тогда:

$$N_{кр} = \frac{1}{36}K_h h^2 - 0,5G. \tag{16}$$

Если параметр нелинейности $\beta=2$:

$$N_{кр} = \frac{1}{80}K_h h^2 - 0,5G. \tag{17}$$

Предложенная методика позволяет определить значения горизонтальных перемещений общего сопротивления грунта, глубину точки с нулевым перемещением опоры, изгибающих моментов и перерезывающих сил в произвольных сечениях опоры, а также продольной критической силы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Снитко Н.К., Снитко А.Н. Расчет жестких и гибких опор, защемленных в грунт при одновременном действии горизонтальных и вертикальных нагрузок // Основания, фундаменты и механика грунтов. М.. 1967. №3. с.3-5.

2. Мустафаев А.А., Мамедов К.М. К вопросу расчета опор морских нефтепромысловых сооружений// Основания, фундаменты и механика грунтов. М.. 1969. №6. С.3-6.

3. Сафарова Н.А. К вопросу выбора модели грунтового основания для свай глубокого заложения. Сборник научных трудов факультета"ВХС и Экологии". №4. Баку. 2000. С.139-141.

1. Мамедов К.М., Гасанова С.М., Мурсалов А.А. Расчет двухступенчатой бурозаливной сваи в однородной грунтовой среде. Сборник

научных трудов факультета"ВХС и Экологии".№4, Баку. 2000. С.147-151.

2. Наджафова Л.Р. Расчет опор глубокого заложения в двухслойной грунтовой среде. Сборник научных трудов факультета"ВХС и Экологии". №4. Баку.2000. С.160-164.

3. Бровко И. С. Расчет деформаций оснований промышленных сооружений и гражданских зданий при взаимном влиянии фундаментов // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 5. С. 53-54.

4. Мамедов К.М., Асланов Б.М. К вопросу расчета жестких опор, в грунтовой среде при действии горизонтальных и вертикальных нагрузок // Экология и водные хозяйство. №5(41), Баку. 2012., С. 69-72.

5. Абовский Н. П., Сиделев В. А. Об эффективности применения пространственных фундаментных платформ, особенно на слабых грунтах // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 2. С. 47-48.