

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОДИНОЧНОЙ ПИРАМИДАЛЬНОЙ СВАИ С НИЗКИМ РОСТВЕРКОМ ДЕЙСТВИЮ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Матус Ю.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Приведена методика аналитического расчета сопротивления горизонтальной нагрузке одиночной пирамидальной, с углом сбега боковых граней $5...13^\circ$, сваи с низким ростверком.

Расчет по деформациям основания горизонтально нагруженного односвайного фундамента, состоящего из одиночной пирамидальной сваи с углом наклона боковых граней $5...13^\circ$ и жестко соединенного с ней низкого ростверка, базируется на принятии следующих предпосылок:

- свая и ростверк являются абсолютно жесткими по сравнению с грунтовым основанием;
- грунтовое основание рассматривается как линейно-деформируемая среда, характеризующаяся коэффициентами постели;
- эпюры коэффициентов постели при неравномерном сжатии грунтового основания в горизонтальном и вертикальном направлениях имеют прямоугольный характер;
- силы трения по боковым граням отсутствуют;
- сопротивление основания горизонтальному сдвигу ростверка рассматривается как сила трения его подошвы о грунт.

В качестве основного рассмотрен случай работы фундамен-

та под действием горизонтальной силы F_h , приложенной на некоторой высоте H от подошвы ростверка. Если имеет место одновременное действие на фундамент и вертикальной нагрузки F_v , то последнее учитывают введением в расчет коэффициента нагружения $\gamma_{c.v}$.

Односвайный фундамент расчленяли на образующие его составные элементы — пирамидальную сваю и низкий ростверк и рассматривали взаимодействие с грунтовым основанием каждого элемента в отдельности. Особенности этого взаимодействия описывали с помощью двух уравнений статики, отображающих условия равновесия элементов в виде равенств нулю сумм проекций всех сил на горизонтальную ось и моментов этих сил относительно центра поперечного сечения головы сваи. Взаимодействие элементов фундамента друг с другом характеризовали дополнительным уравнением неразрывности перемещений, отражающим равенство углов поворота ростверка и сваи в месте их соединения. Расчет учитывает неоднородность сжимаемости грунтового основания вследствие образований в нем на стадии забивки сваи зоны уплотнения.

При горизонтальном перемещении головы сваи \bar{u}_0 , равном 25 мм, сопротивление горизонтальной нагрузке односвайного фундамента, состоящего из пирамидальной сваи длиной l , с размером d головы квадратного сечения, углом сбега грани α и низкого ростверка с симметричной относительно головы сваи подошвой и наружными размерами b_p и l_p (последний параллелен линии действия горизонтальной силы), определяется по формуле

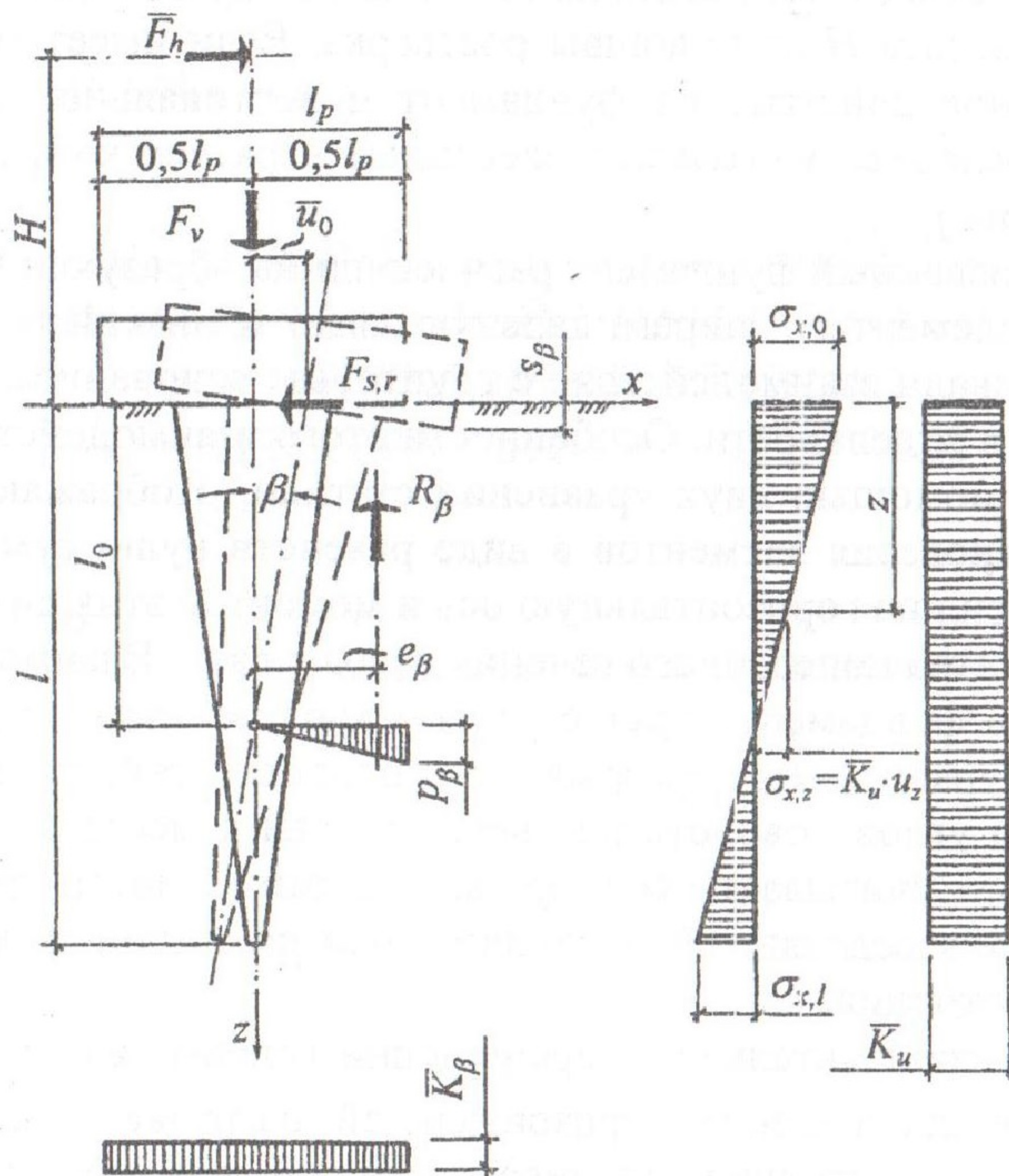
$$\bar{F}_h = \frac{\gamma_{c.v} \cdot \bar{u}_0 \cdot \bar{K}_u \cdot l (6l_0\Phi_1 - l\Phi_2) (e_\beta - \bar{\mu}_p (H - \Delta H))}{6\gamma_{c.h} \cdot l_0 (e_\beta - \bar{\mu}_p H)},$$

где $\gamma_{c.v}$ — коэффициент нагружения, определяется из выражения

$$\gamma_{c.v} = 1 + 0,674 F_v / F_h;$$

$\gamma_{c.h}$ — коэффициент условий работы грунта основания, учитывающий долю постоянной части $F_{h.c}$ в общем значении горизонтальной нагрузки, определяется по формуле

$$\gamma_{c.h} = 0,5 + F_{h.c} / F_h;$$



Расчетная схема горизонтально нагруженной пирамидальной сваи с низким ростверком

l_0 – глубина местоположения точки нулевых перемещений,

$$l_0 = \frac{l(l \cdot \Phi_3 + (H - \Delta H) \Phi_2)}{l \Phi_2 + 6(H - \Delta H) \Phi_1};$$

e_β – расстояние в уровне головы сваи от её оси до центра тяжести эпюры вертикальных реактивных давлений под контактирующей с грунтом частью подошвы ростверка,

$$e_\beta = \frac{b_p \cdot l_p^3 - d^4}{3(b_p \cdot l_p^2 - d^3)};$$

ΔH – изменение высоты местоположения горизонтальной

нагрузки, обусловленное реализацией сопротивления грунтового основания повороту ростверка находится из выражения

$$\Delta H = \frac{3I_p \bar{K}_\beta (l\Phi_2 - 6H\Phi_1)}{l^3 \bar{K}_u (6\Phi_1 \cdot \Phi_3 - \Phi_2^2) \cos \alpha + 18I_p \bar{K}_\beta \Phi_1},$$

где I_p – момент инерции подошвы ростверка;

Параметры Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 , входящие в приведенные выше выражения, определяются из формул

$$\Phi_1 = d - l \operatorname{tg} \alpha; \quad \Phi_2 = 3d - 4l \operatorname{tg} \alpha; \quad \Phi_3 = 2d - 3l \operatorname{tg} \alpha.$$

\bar{K}_β – коэффициент постели при неравномерном сжатии основания низкого ростверка в вертикальном направлении при горизонтальном перемещении фундамента, равном \bar{u}_0 .

При отсутствии экспериментальных данных коэффициент постели K_β определяется по базирующейся на решении О.А. Савинова формуле

$$\bar{K}_\beta = \frac{m_\beta \cdot \gamma_{с.упл} \cdot p (\Delta_1 A + 2(l_p + 3b_p))}{s (\Delta_1 A + 2(l_p + b_p))},$$

где m_β – корректирующий коэффициент, равный 1 или 0,9 для оснований, сложенных соответственно песчаными или глинистыми грунтами;

Δ_1 – параметр, принимаемый по О.А. Савинову, равным 1 м^{-1} ;

s – расчетная по СНиП 2.02.01-83 осадка фундамента с площадью подошвы $A = b_p \cdot l_p$, передающего равномерно распределенное давление p на грунт, равное 0,2 МПа;

$\gamma_{с.упл}$ – коэффициент повышения \bar{K}_β , учитывающий предварительное уплотнение основания вследствие забивки свай.

Коэффициент $\gamma_{с.упл}$ определяется по формуле

$$\gamma_{с.упл} = 1 + \left(1 - \frac{0,5(l_p - d)}{C_{упл} - d} \right)^2,$$

где $C_{упл}$ – максимальный диаметр горизонтального сечения зоны

уплотнения, вычисляемый при известном угле внутреннего трения φ грунта по формуле $C_{\text{упл}} = (1,381 - 2,436 \text{ tg } \varphi) d$. При многослойном основании φ принимается равным минимальному значению для грунтов, залегающих в пределах длины свай.

\bar{K}_u, μ_p – коэффициент постели при неравномерном сжатии основания в горизонтальном направлении и коэффициент трения подошвы ростверка о грунт подвижного основания, соответствующие перемещению фундамента \bar{u}_0 .

Значение коэффициента \bar{K}_u принимается для однослойных оснований по таблице; при залегании двух слоев грунта в пределах условной глубины z_0 точки нулевых перемещений, приведенное значение $\bar{K}_{u \text{ мт}}$ определяется по формуле

$$\bar{K}_{u \text{ мт}} = \frac{\bar{K}_{u1} \cdot \Phi_4 + \bar{K}_{u2} \cdot \Phi_5}{\Phi_6}.$$

Параметры Φ_4, Φ_5 и Φ_6 находят из выражений

$$\Phi_4 = 3d h_1 (2z_0 - h_1) - 2h_1^2 \text{ tg } \alpha (3z_0 - 2h_1);$$

$$\Phi_5 = 3h_2^2 (d - 2z_0 \text{ tg } \alpha) + 4h_2^3 \text{ tg } \alpha;$$

$$\Phi_6 = 3dz_0^2 - 2z_0^3 \text{ tg } \alpha,$$

где h_1 и h_2 – мощность слоев соответственно верхнего и нижнего в пределах z_0 ;

$$z_0 = 0,5l_0.$$

Приложенная на расстоянии e_β от центра сечения головы свай равнодействующая вертикальных реактивных давлений, действующих по подошве ростверка, определяется из выражения

$$R_\beta = \frac{p_\beta \cdot (b_p \cdot l_p^2 - d^3)}{4l_p},$$

где p_β – максимальное краевое давление под подошвой ростверка, равное $s_\beta \cdot \bar{K}_\beta$;

s_β – максимальная осадка края подошвы ростверка, равная $0,5l_p \cdot \text{tg } \beta$;

$\text{tg } \beta$ – тангенс угла поворота жесткого фундамента, равный

\bar{u}_0/l_0 .Коэффициент постели \bar{K}_u

Вид грунта	\bar{K}_u Н/см ³
Глинистые грунты твердые	70
Глинистые грунты с $I_L = 0,1$	55
Глинистые грунты полутвердые, пески средней крупности в средней плотности	40
Глинистые грунты тугопластичные, пески мелкие средней плотности	25
Глинистые грунты насыпные, уплотненные до $\rho_d = 1,6$ г/см ³ , пески намывные, уплотненные до $\rho_d = 1,65$ г/см ³	20
Глинистые грунты мягкопластичные, пески пылеватые и мелкие, водонасыщенные, средней плотности	15
Пески водонасыщенные рыхлые	10

Сопротивление $F_{s,r}$ грунтового основания горизонтальному сдвигу подошвы ростверка находится по формуле

$$F_{s,r} = \bar{\mu}_p \cdot R_\beta$$

Значение коэффициента $\bar{\mu}_p$ составляет: для глин во влажном состоянии – 0,03; для прочих глинистых грунтов – 0,04; для песков – 0,07.

Горизонтальное перемещение фундамента u_0 в уровне подошвы ростверка при действии горизонтальной нагрузки F_h меньшей чем \bar{F}_h , находится по формулам

$$u_0 = 25 (F_h / 1,198 \bar{F}_h)^{2,778} \quad \text{при } u_0 \leq 7,5 \text{ мм}$$

$$\text{и} \quad u_0 = 25 (F_h / \bar{F}_h)^{4,739} \quad \text{при } 7,5 < u_0 \leq 25 \text{ мм.}$$

Расхождение между расчетными и опытными данными о сопротивлении горизонтальной нагрузке свай с низкими ростверками не превышает 10%.