

К РАСЧЕТУ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАГРУЖЕННОЙ СВАИ-КОЛОННЫ С НИЗКИМ РОСТВЕРКОМ-ОГОЛОВКОМ

Матус Н.Ю.

ООО «ГТ Проект – Украина»
г. Одесса, Украина

АННОТАЦИЯ: Приведено метод розрахунку горизонтально навантаженої палі-колони з низьким ростверком-оголовком з урахуванням взаємодії складових частин фундаменту при їх спільній роботі з ґрунтовою основою.

АННОТАЦИЯ: Приведен метод расчета горизонтально нагруженной свай-колонны с низким ростверком-оголовком с учетом взаимодействия составных частей фундамента при их совместной работе с ґрунтовым основанием.

ABSTRACT: A method over of calculation of the horizontally loaded pile-column with a subzero grillage-оголовком taking into account co-operation of component parts of foundation during their joint work with the ground foundation is brought.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Свая-колонна, низкий ростверк, горизонтальная нагрузка.

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование инженерного метода расчета горизонтально нагруженной свай-колонны с низким ростверком-оголовком в виде шайбы-уширения, обеспечивающим реализацию бóльшего сопротивления нагрузкам верхних слоев основания, при одновременном действии вертикальной нагрузки достаточно актуально, интересно и имеет теоретическое, и практическое значение.

В работах [1, 2] впервые предложен инженерный метод расчета горизонтально нагруженной свай-колонны с оголовком в виде шайбы-

уширения. Основные предпосылки, принятые авторами при выводе теоретических формул метода, следующие: – свайный фундамент в целом и его составные части в отдельности приняты абсолютно жесткими по сравнению с грунтовым основанием; основание – линейно-деформируемая среда, неравномерное сжатие которой в вертикальном и горизонтальном направлениях характеризуется соответственно прямоугольной и треугольной (с вершиной вверху) эпюрами коэффициентов постели; взаимодействие друг с другом составных элементов фундамента при их совместной работе с грунтовым основанием учтено уравнением неразрывности перемещений сваи-колонны и низкого ростверка в виде шайбы-уширения в месте их сочленения, отражающим равенство углов поворота элементов.

В процессе вывода формул авторы работ [1, 2] допустили принципиальную ошибку, связанную с тем, что при треугольной эпюре изменения с глубиной коэффициента постели при неравномерном сжатии грунтового основания в горизонтальном направлении была принята прямолинейная эпюра изменения горизонтальных напряжений.

В связи с тем, что при выводе формул взята за основу именно прямолинейная эпюра горизонтальных напряжений, то представленные в работах [1, 2] формулы соответствуют предположению о наличии прямоугольной, а не треугольной эпюры коэффициента постели. Подобное предположение противоречит современной практике инженерных расчетов конструкций с постоянным поперечным сечением, заглубленных в грунт.

Цель работы – разработка расчета сваи-колонны с низким ростверком-оголовком в виде шайбы-уширения на горизонтальную нагрузку при одновременном учете действия вертикальной нагрузки, при принятии треугольной эпюры изменения коэффициента постели при неравномерном сжатии грунтового основания в горизонтальном направлении по глубине и соответственно эпюры напряжений, ограниченной квадратной параболой.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Расчетная схема сваи-колонны с низким ростверком-оголовком в виде шайбы-уширения представлена на рис. 1а. При этом приняты следующие обозначения: F_h – сосредоточенная горизонтальная нагрузка, действующая в направлении оси x и приложенная к свае-колонне в уровне подошвы ростверка; F_v – сосредоточенная нагрузка, приложенная к верхнему концу сваи-колонны; M_0 , M_v и M_β – моменты, действующие в уровне подошвы ростверка (точка 0) и создающиеся соответственно внешними нагрузками (за исключением F_v), внешней вертикальной нагрузкой F_v и реактивными давлениями p , приложенными к подошве низкого ростверка; h и H – длина участка сваи-колонны соответственно ниже и выше уровня

подошвы ростверка; β – угол поворота (наклона) фундамента; z_0 – глубина местонахождения т.н.п.; z – текущая координата.

Под действием горизонтальной силы F_h и моментов M_0 и M_β , фундамент повернется на угол β вокруг точки нулевых перемещений (т.н.п.) – мгновенного центра поворота, расположенного на некотором расстоянии z_0 от подошвы ростверка. Вследствие поворота фундамента вертикальная сила F_v , приложенная к верхнему концу сваи-колонны, может быть разложена на две составляющие – вдоль наклонной оси фундамента и горизонтальную, равную $F_v \beta$. Горизонтальная составляющая создаст дополнительный момент, равный

$$M_v = F_v H \beta.$$

Коэффициент постели при неравномерном сжатии основания в горизонтальном направлении $K_{u,z}$ на любом горизонте с глубиной z равен

$$K_{u,z} = K z,$$

где K – угловой коэффициент (определяемый в соответствии с нормативным документом [3]).

Горизонтальное перемещение фундамента на глубине z :

$$u_z = (z_0 - z) \beta.$$

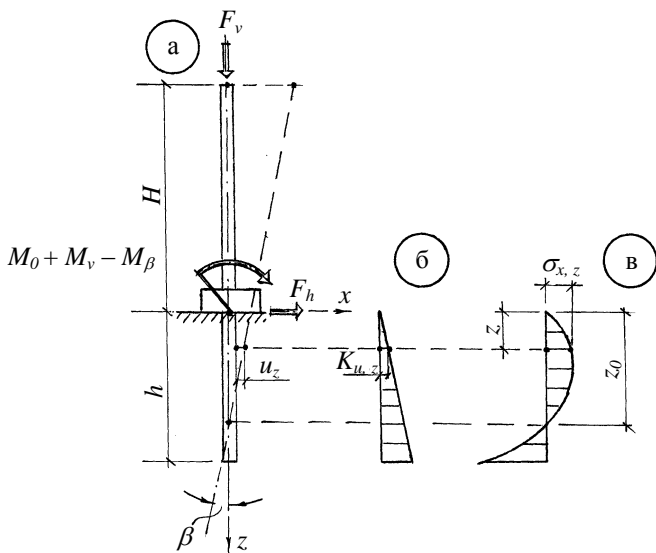


Рис. 1. Расчетная схема сваи-колонны с низким ростверком-оголовком в виде шайбы-уширения (а); эпюра коэффициента постели при неравномерном сжатии основания в горизонтальном направлении (б); эпюра горизонтального напряжения $\sigma_{x,z}$ (в)

Следовательно, горизонтально направленное напряжение $\sigma_{x,z}$, действующее на контакте «свая – грунтовое основание», на глубине z равно

$$\sigma_{x,z} = K_u u_z = K z (z_0 - z) \beta = K (z_0 z - z^2) \beta,$$

то есть эпюра напряжения $\sigma_{x,z}$ будет ограничена квадратной параболой.

Заменяем силу F_h и момент M_0 эквивалентной системой, состоящей только из одной силы F_h , приложенной на высоте λ от уровня подошвы ростверка:

$$\lambda = M_0/F_h.$$

Расчетная схема низкого ростверка-оголовка в виде шайбы-уширения, с размерами подошвы ростверка и сваи в направлении оси x и y соответственно l_p, b_p и d_x, d_y , представлена на рис. 2.

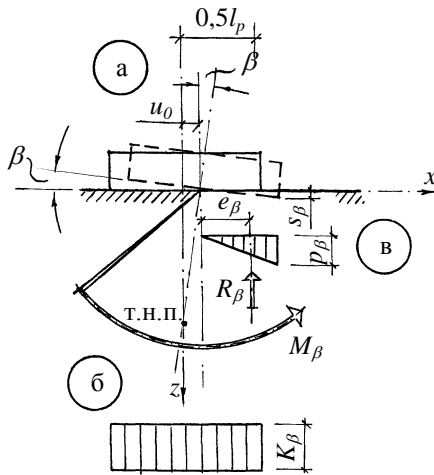


Рис. 2. Расчетная схема низкого ростверка-оголовка в виде шайбы-уширения (а); эпюра коэффициента постели при неравномерном сжатии основания в вертикальном направлении (б); эпюра вертикального давления p (в)

Исходим из предпосылки о том, что разность сил $F_v - R_\beta$ полностью воспринимается непосредственно самой свай-колонной, как составляющей фундамента (R_β – равнодействующая реактивных давлений, действующих под подошвой рабочей части ростверка).

Следовательно, работа ростверка с грунтом основания должна рассматриваться в условиях отсутствия действия на него внешней вертикальной нагрузки. При повороте ростверка на угол β относительно оси поперечного сечения сваи, перпендикулярной направлению действия горизон-

тальной нагрузки F_h , будет иметь место отрыв от грунтового основания, расположенной у задней грани, половины площади его подошвы. Таким образом, рабочей частью подошвы будет служить только половина площади ростверка, находящаяся у его передней грани.

Параметры совместной работы низкого ростверка-оголовка и грунтового основания, характеризуемого прямоугольной эпюрой коэффициента постели при неравномерном сжатии основания K_β [4]:

– осадка края низкого ростверка и реактивное давление там же

$$s_\beta = 0,5 l_p \beta; \quad p_\beta = 0,5 K_\beta l_p \beta;$$

– равнодействующая реактивных давлений, действующих по подошве ростверка, и создаваемый ею реактивный момент:

$$R_\beta = M_\beta / e_\beta, \quad M_\beta = 0,5 K_\beta I_p \beta,$$

где e_β – плечо равнодействующей реактивных давлений, равное $e_\beta = (b_p l_p^3 - d_y d_x^3) / [3 (b_p l_p^2 - d_y d_x^2)]$;

I_p – момент инерции всей подошвы ростверка, определяемый по формуле $I_p = (b_p l_p^3 - d_y d_x^3) / 12$;

Запишем уравнения равновесия, отражающие равенство нулю проекций всех сил на горизонтальную ось x и моментов всех сил, относительно начала координат (точки 0):

$$F_h + F_v \beta - b_p \int_0^h \sigma_{x,z} dz = 0; \quad (1)$$

$$F_h \lambda + M_v - M_\beta + b_p \int_0^h \sigma_{x,z} z \beta dz = 0, \quad (2)$$

где b_p – условная ширина сваи-колонны, значение которой принимается в соответствии с указаниями [3].

После взятия интегралов и подстановки в вышеприведенные уравнения, как их, так и других, ранее найденных выражений, уравнения равновесия получают вид:

$$F_h + F_v \beta - \frac{1}{6} K b_p (3 z_0 h^2 - 2 h^3) \beta = 0; \quad (3)$$

$$F_h \lambda + F_v H \beta - \frac{1}{2} K_\beta I_p \beta + \frac{1}{12} K b_p (4 z_0 h^3 - 3 h^4) \beta = 0. \quad (4)$$

Из уравнений равновесия находим выражения для угла поворота фундамента β и глубины точки нулевых перемещений z_0

$$\beta = \frac{6 F_h}{K b_p (3 z_0 h^2 - 2 h^3) - 6 F_v}; \quad (5)$$

$$z_0 = \frac{K b_p h^3 (4 \lambda + 3 h) + 6 K_\beta I_p - 12 F_v (H - \lambda)}{2 K b_p h^2 (3 \lambda + 2 h)}. \quad (6)$$

При расчете на прочность тела сваи-колонны, изгибающий момент M_z и поперечную силу Q_z в сечении сваи-колонны в пределах ее рабочей длины на глубине z определяем по формулам

$$M_z = F_h (\lambda + z) + F_v (H + z) \beta - \frac{1}{2} K_\beta I_p \beta - \frac{1}{12} K b_p (2 z_0 - z) z^3 \beta; \quad (7)$$

и

$$Q_z = F_h + F_v \beta - \frac{1}{6} K b_p (3 z_0 - 2 z) z^2 \beta. \quad (8)$$

Определение изгибающего момента M_x и поперечной силы Q_x в теле ростверка в виде шайбы-уширения выполняется элементарно.

ВЫВОД

Расчет сваи-колонны с низким ростверком-оголовком в виде шайбы-уширения на горизонтальную нагрузку при одновременном учете действия вертикальной нагрузки и при принятии треугольной эпюры изменения коэффициента постели при неравномерном сжатии грунтового основания в горизонтальном направлении по глубине (соответственно при эпюре напряжений, ограниченной квадратной параболой), необходимо производить по приведенным в настоящей статье формулам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобринец В.М. Метод расчета по деформациям грунтового основания горизонтально нагруженного фундамента из короткой сваи-колонны / В.М. Кобринец, Т.Н. Барчукова // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2008. – Вип. 71. – Кн. 1. – С. 463 – 469.
2. Барчукова Т.Н. Расчет основания горизонтально нагруженной сваи-колонны с уширением / Т.Н. Барчукова // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2008. – Вип. 71. – Кн. 1. – Київ, НДІБК, 2008. – С. 493 – 499.
3. Проектирование и устройство свайных фундаментов: СП 50-102-2003. – М., 2005. – 81 с.
4. Матус Ю.В. Теоретическое определение параметров совместной работы с грунтом основания низкого ростверка горизонтально нагруженной одиночной пирамидальной сваи / Ю.В. Матус // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2002. – Вип. 8. – С. 126 – 132.

Статья поступила в редакцию 10.09.2013 г.