

## **О РАЦИОНАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЗМЕРОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОДОШВЫ ВНЕЦЕНТРЕННО НАГРУЖЕННОГО ФУНДАМЕНТА**

Матус Ю.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
г. Одесса, Украина

**АНОТАЦІЯ:** Приведені пропозиції щодо раціоналізації визначення розмірів прямокутної підшви позацентрово навантаженого фундаменту, що працює без відриву підшви від ґрунтової основи.

**АННОТАЦИЯ:** Приведены предложения по рационализации определения размеров прямоугольной подошвы внецентренно нагруженного фундамента, работающего без отрыва подошвы от грунтового основания.

**ABSTRACT:** Suggestion on rationalization of determining size of rectangular sole of the eccentric loaded foundation, working without tearing away of sole from the ground foundation are given.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Фундамент, прямоугольная подошва, внецентренная нагрузка.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Обычно в практике проектирования, с целью избежать математические трудности, определение геометрических параметров подошвы выполняется методом последовательных приближений, которому свойственны недостатки, связанные, в основном, с отсутствием упорядоченного, обоснованного подхода к расчету, что обуславливает существенное количество последовательных приближений, объем, длительность и трудоемкость вычислений [1 - 3].

Вопрос дальнейшей рационализации метода последовательных приближений при определении размеров прямоугольной подошвы внецентренно нагруженного фундамента является актуальным и имеет теоретическое и практическое значение.

**Цель статьи** – рационализация расчета по определению размеров подошвы внецентренно нагруженного фундамента, работающего без отрыва подошвы от грунтового основания, методом последовательных приближений на основе обоснованного, упорядоченного подхода, приводящего как к уменьшению сложности, так и объема расчета, в том числе, и к минимизации количества последовательных приближений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Условия, исходя из которых определяются размеры внецентренно нагруженных фундамента, достаточно известны [1] и ниже не рассматриваются.

При действии моментов сил относительно обеих главных осей инерции  $x$  и  $y$  подошвы фундамента максимальное давление  $p_{\max}^c$  в угловой точке определяется по формуле:

$$p_{\max}^c = N/A + M_x/W_x + M_y/W_y + \gamma_m d, \quad (1)$$

где  $N$  – суммарная вертикальная нагрузка на фундамент в уровне его верхнего обреза;  $M_x$ ,  $M_y$  – моменты сил, действующие в уровне подошвы фундамента соответственно в направлении осей  $x$  и  $y$ ;  $A$ ,  $W_x$ ,  $W_y$  – соответственно площадь и моменты сопротивления подошвы относительно главных осей;  $\gamma_m$  – среднее значение удельного веса фундамента и грунта на его обрезах;  $d$  – глубина заложения подошвы.

Обозначим размеры подошвы большой и меньшей соответственно через  $l$  и  $b$ , а их соотношение  $b/l$  через  $m$ .

Подставляя в уравнение выражения площади и соответствующих моментов сопротивления подошвы, как функций от размеров ее сторон и их соотношения, а также принимая, что  $p_{\max}^c = 1,5R$ , получим следующие формы уравнения (1)

$$N/ml^2 + 6M_x/ml^3 + 6M_y/m^2l^3 + \gamma_m d = 1,5R; \quad (1a)$$

$$mN/b^2 + 6m^2M_x/b^3 + 6mM_y/b^3 + \gamma_m d = 1,5R. \quad (1б)$$

Задаваясь соотношением сторон подошвы  $m$ , мы получаем в дальнейшем из каждого вышеприведенного уравнения линейное уравнение третьей степени относительно неизвестного ( $l$  или  $b$ ) без члена с квадратом неизвестного.

Рассмотрим, к чему приведет выбор в качестве известной ширины  $b$  или длины  $l$  подошвы. Тогда каждое из уравнений (1а) или (1б) примет вид биквадратного уравнения относительно неизвестного  $m$ :

$$m^2 + pm + q = 0, \quad (2)$$

где, при известном  $l$ :

$$p = -\frac{Nl + 6M_x}{(1,5R - \gamma_m d)l^3}; \quad q = -\frac{6M_y}{(1,5R - \gamma_m d)l^3}; \quad (2a)$$

а при известном  $b$ :

$$p = \frac{Nb + 6M_y}{6M_x}; \quad q = \frac{(1,5R - \gamma_m d)b^3}{6M_x}. \quad (2б)$$

При действии моментов в двух направлениях среднее давление  $p_{mт}$  под подошвой фундамента (при  $p_{min}$  равном  $0,5R$ ,  $0,25p_{max}$  и  $0$ ) соответственно равно  $R$ ,  $0,9375R$  и  $0,75R$ .

При действии момента сил относительно только одной из осей инерции площади подошвы (оси  $x$ ), определение неизвестного  $m$  (при известном  $b$ ) производим (при условии, что максимальное давление  $p_{max}$  под краем фундамента равно  $p_{max} = 1,2 R$ ) на основе решения биквадратного уравнения (2), в котором  $p$  и  $q$  определяются по формулам (2б), с заменой  $1,5R$  на  $1,2R$ , при условии, что  $M_y = 0$ . При известном  $l$  соотношение сторон  $m$  определяется по формуле

$$m = \frac{Nl + 6M_x}{(1,2R - \gamma_m d)l^3}. \quad (2в)$$

При действии момента в одном направлении среднее давление  $p_{mт}$  под подошвой фундамента (при  $p_{min}$  равном  $0,8R$ ,  $0,25p_{max}$  и  $0$ ) соответственно равно  $R$ ,  $0,75R$  и  $0,6R$ .

Таким образом, выбрав в качестве известных тот или иной размер подошвы, удастся снизить степень разрешающего уравнения на единицу (т.е. получить уравнение второй степени относительно неизвестного  $m$ ), а при выборе длины  $l$  и действии момента относительно одной из осей инерции и уравнение первой степени.

Более рациональным, оптимальным и удобным, по нашему убеждению, расчетным путем определения размеров прямоугольной подошвы внецентренно нагруженного фундамента будет следующий. Исходя из некоторых, определенных заранее, выбранных условий, определяют границы условного интервала вероятного изменения одного из размеров подошвы с назначением ряда его модульных значений. Далее расчетным, теоретически обоснованным, путем, для каждого значения размера определяют, отвечающее этому значению отношение сторон подошвы, при котором имеет место принятое значение  $p_{max}$ . Затем определяют другой размер подошвы, ее площадь и момент сопротивления, а также давления в характерных точ-

ках. На основе анализа полученных результатов производят окончательный выбор оптимальных размеров подошвы фундаментов.

Рассмотрим вопрос об условном интервале изменения, например, длины подошвы фундамента. В качестве выбираемых исходных предпосылок примем  $m_0$  и  $p_{mt}$ . Здесь в качестве  $m_0$  рекомендуется принимать нижнюю границу рекомендуемого интервала изменения отношения сторон подошвы.

Нижняя (минимальная) условная (т.к. полное соответствие между принятыми значениями  $m_0$  и  $p_{mt}$  вряд ли будет строго соблюдаться) граница  $l_{01}$  (для случая, когда  $p_{mt} = R$ ) и верхние максимальные условные границы  $l_{02}$  (для случая, когда  $p_{min}/p_{max} = 0,25$ ) и  $l_{03}$  (для случая, когда  $p_{min} = 0$ ) интервала изменения длины подошвы фундамента определяются по формуле

$$l_{0i} = \sqrt{\frac{N_0}{m_i(p_{mt} - \gamma_m h)}}, \quad (3)$$

где  $p_{mt}$  – среднее давление  $p_{mt}$  под подошвой, значения которого рассмотрены выше.

Формула (3) дает возможность точно устанавливать значение длины подошвы фундамента при условии полного соответствия между значениями отношения сторон подошвы и среднего давления под подошвой. Несоблюдение этого условия вносит погрешности в получаемый результат.

Значение искомой длины подошвы фундамента будет находиться внутри интервала « $l_{01} - l_{02}$ », либо интервала « $l_{01} - l_{03}$ », при условии, и это следует особо подчеркнуть, что приведенные формулы для определения верхних условных границ для рассматриваемого конкретного случая работают корректно.

Выбор первоначальной модульной длины подошвы можно выполнять двояко. В первом случае, при выборе в качестве исходной предпосылки значение нижней границы интервала изменения длины подошвы фундамента, следует учитывать что, как правило, среднее давление под подошвой в итоге будет меньше расчетного сопротивления грунта основания, а искомое значение длины подошвы будет больше  $l_{01}$ , и, следовательно, расчет ширины подошвы необходимо выполнять при модульных размерах длины больших  $l_{01}$ . В остальных случаях среднее давление под подошвой, в итоге, будет соответственно больше  $0,9375R$  и  $0,75R$  (во втором) и  $0,75R$  и  $0,6R$  (в третьем случае), а искомое значение длины подошвы будет соответственно меньше  $l_{02}$  или  $l_{03}$ , и, следовательно, расчет ширины подошвы необходимо выполнять при модульных размерах длины меньших, чем указанные значения.

Целесообразно, как показывает практика, в качестве исходного значения длины подошвы принимать именно нижнюю границу условного интервала.

После установления исходного модульного значения длины подошвы, все другие назначаемые в дальнейшем модульные значения  $l_i$  ряда будут большими чем  $l_{01}$ , но меньшими чем  $l_{02}$  или  $l_{03}$ .

Выбранные значения длины подошвы должны быть последовательно опробованы. Таким образом, процесс расчета будет системным, теоретически обоснованным, существенно упорядоченным и ограниченным, идущим в одном направлении до момента, когда при некоторых модульных размерах подошвы соответствующее  $m_i$  максимально приблизится сверху к значению  $m_0$ . Особо отметим то обстоятельство, что количество востребованных модульных значений  $l_i$  будет несоизмеримо меньше возможных значений  $m_i$ , а, следовательно, и количество попыток кардинально будет сокращено.

Оптимальными размерами фундамента будем считать те, при которых, при соблюдении всех прочих условий, площадь подошвы будет иметь минимальное значение.

Проиллюстрируем применение предлагаемой методики на примере, хотя практическое ее применение и очевидно.

Пусть требуется найти размеры подошвы фундамента ( $p_{min}/p_{max} \geq 0,25$ ) промышленного сооружения ( $m = 0,6...0,85$ ) при следующих данных (заимствованы из работы [4]):  $N_0 = 1302,4$  кН,  $M = 448,9$  кН·м,  $R = 230$  кПа,  $\gamma_m = 20$  кН/м<sup>3</sup>,  $h = 1,8$  м. Геометрические параметры подошвы должны удовлетворять условиям  $p_{min}/p_{max} \geq 0,25$ .

Определяем  $l_{01}$  и  $l_{02}$  по формуле (3):

$$l_{01} = \sqrt{\frac{1302,4}{0,6(230 - 20 \cdot 1,8)}} = 3,35 \text{ м.}$$

$$l_{02} = \sqrt{\frac{1302,4}{0,6(0,75 \cdot 230 - 20 \cdot 1,8)}} = 3,99 \text{ м.}$$

Принимаем следующие модульные размеры длины  $l_i$  подошвы фундамента: 3,3, 3,6 и 3,9 м (практика показывает, что целесообразно начинать расчеты с модульного размера длины  $l_i$ , следующего за  $l_0$ , то есть в данном случае ряд надо начинать с 3,6 м). Значения  $m_i$ , соответствующие принятым значениям  $l_i$ , находим из выражения, полученного на базе формулы (3)

$$m_i = \frac{Nl_i + 6M_x}{(1,2R - \gamma_m d)l_i^3} = \frac{1302,4l_i + 6 \cdot 448,9}{(1,2 \cdot 230 - 20 \cdot 1,8) \cdot l_i^3} = \frac{5,4267l_i + 11,2332}{l_i^3}.$$

Результаты расчетов сводим в таблицу.

$l_i, \text{ м}$	$m_p$	$b_p, \text{ м}$	$b_i, \text{ м}$	$m_i$	$A_{f,i}, \text{ М}^2$
3,3	$0,8109 < 0,85$	2,68	2,7	$0,8182 < 0,85$	8,91
3,6	$0,6595 > 0,6$	2,37	2,4	$0,6667 > 0,6$	8,64
3,9	$0,5462 < 0,6$	2,13	2,10	$0,5385 < 0,6$	8,19

Принимаем длину подошвы фундамента  $l$ , равную 3,6 м, ширину  $b = 2,4$  м (с учетом размеров модульного ряда). Отметим, что окончательные размеры подошвы практически получены с первой попытки, и размеры те же, что и в работе [4], где они были найдены при решении канонического уравнения третьей степени.

## ВЫВОДЫ

1. Рациональный расчет оптимальных размеров подошвы внецентренно нагруженного фундамента связан с применением метода последовательных приближений и реализацией системного, упорядоченного, обоснованного подхода, заключающегося в выборе ряда модульных значений одного из размеров подошвы с последующим определением другого на основе результатов расчетного, теоретически обоснованного определения отношения размеров подошвы, удовлетворяющего заданным условиям как по форме эпюры контактных давлений под подошвой, так и по значению ее максимальной краевой (или угловой) ординаты.

2. Предложенный расчет отличается ясностью, простотой и элементарностью процедуры его выполнения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Гобунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с. – (Справочник проектировщика).
2. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений / Б.И. Далматов, В.Н. Бронин, А.В. Голли и др.; под ред. Б.И. Далматова. – М. – СПб.: Изд-во АСВ, 2001. – 436 с.
3. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий / А.И. Полищук. – Томск: Нортхэмптон, 2004. – 476 с.
4. Голышев А.Б. Проектирование железобетонных конструкций / А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук и др.; – К.: «Будівельник», 1985. – 496 с.

Статья поступила в редакцию 10.09.2013 г.