

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

И. Х. КУЛИДЖАНОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАЕВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ПОДОШВЕ  
 КРУГЛОГО ФУНДАМЕНТА, РАБОТАЮЩЕГО НЕПОЛНЫМ  
 СЕЧЕНИЕМ

Определение краевых напряжений в случае работы круглого фундамента полным сечением по подошве, т. е. при расположении вертикальной равнодействующей силы в пределах ядра сечения ( $\frac{e_0}{\rho} \leq 1$ ) производится по общезвестной формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} = \frac{N}{F} \left( 1 + \frac{e_0}{\rho} \right) \quad (1)$$

где  $N$ ,  $M$  — вертикальная равнодействующая активных сил на уровне подошвы фундамента и их момент относительно ее главной оси;  $e_0 = \frac{M}{N}$  — эксцентриситет

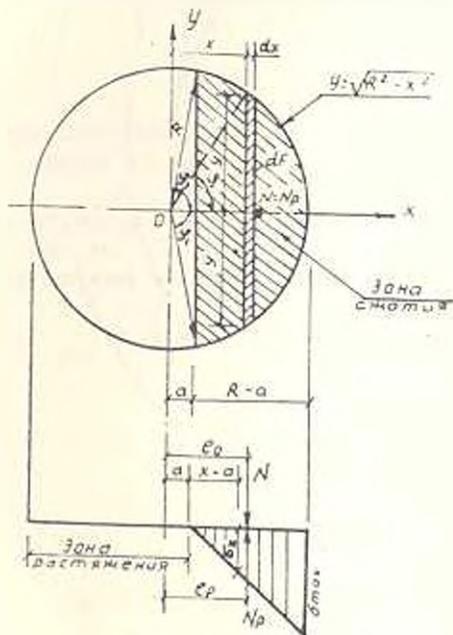


Рис. 1.

приложения вертикальной равнодействующей относительно центра сечения по подошве фундамента (рис.);  $F$ ,  $W$ ,  $\rho = \frac{W}{F}$  — площадь, момент сопротивления и радиус ядра сечения по подошве фундамента (для круглого фундамента  $\rho = \frac{R^2}{4}$ ).

Однако формул для определения краевых напряжений в случае работы круглого фундамента частью сечения по подошве, при  $\frac{e_0}{\rho} > 1$  в существующей литературе и нормативных документах не приводится. В [1, 2] указанные напряжения рекомендуют

приближенно находить по формулам, дающим точное решение только для фундаментов с прямоугольной подошвой:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{2F} \quad (2)$$

здесь

$$x = 0,75 - 1,5 \frac{e_0}{b} \quad (3)$$

$b$  — ширина фундамента в направлении эксцентриситета, для круглого фундамента  $b = 2R$ .

Приближенное определение крайних напряжений с использованием (3) приводит к их опасному занижению по подошве круглого фундамента, что видно из сравнения величин крайних напряжений, полученных по (1) и (2), (3) на границе их применения ( $\frac{e_0}{b} = 1$ ):

$$\sigma_{\max} = 2 \frac{N}{F} = 2\sigma_{\text{ср}}; \quad \tau_{\max} = \frac{N}{0,562F} = 1,77\sigma_{\text{ср}},$$

где  $\sigma_{\text{ср}} = \frac{N}{F}$  — средние напряжения по подошве фундамента.

Указанное обстоятельство потребовало выноса более точных формул для определения крайних напряжений по подошве круглого фундамента, работающего неполным сечением.

Расчетные формулы определены из условия равенства их величине и совпадения точек приложения вертикальных равнодействующих активных и реактивных сил по подошве фундамента (рис.). Для определения величины вертикальной равнодействующей реактивных сил  $N_p$  в пределах сжатой зоны фундамента, выделяем элементарную полосу шириной  $dx$  и площадью  $dF$ :

$$dF = 2ydx = 2 \sqrt{R^2 - x^2} dx.$$

Величину напряжений, действующих в пределах выделенной полоски, находим исходя из линейного закона изменения напряжений в пределах сжатой зоны:

$$\sigma_x = \sigma_{\max} \frac{x - a}{R - a}.$$

Тогда элементарное вертикальное реактивное усилие составит:

$$dN_p = \sigma_x dF = \frac{2\sigma_{\max}}{R - a} (x - a) \sqrt{R^2 - x^2} dx,$$

а равнодействующая реактивных сил  $N_p$ :

$$N_p = \frac{2\sigma_{\max}}{R - a} \int_a^R (x - a) \sqrt{R^2 - x^2} dx$$

и при переходе к новой переменной  $\varphi$ :

$$N_p = \frac{2R^2 z_{\max}}{1 - \cos \varphi_1} \left[ \frac{1}{3} \sin^3 \varphi_1 - \frac{1}{2} \cos \varphi_1 (\varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_1) \right]. \quad (4)$$

Непосредственно из (4), приняв во внимание равенство  $N = N_p$ , получаем формулу для определения краевых напряжений для случая работы круглого фундамента неполным сечением:

$$\sigma_{\max} = \frac{N(1 - \cos \varphi_1)}{2R^2 \left[ \frac{1}{3} \sin^3 \varphi_1 - \frac{1}{2} \cos \varphi_1 (\varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_1) \right]},$$

которую для удобства приводим к привычной форме:

$$z_{\max} = \frac{N}{\alpha F},$$

где

$$\alpha = \frac{\sin \varphi_1 (2 + \cos^2 \varphi_1) - 3\varphi_1 \cos \varphi_1}{3(1 - \cos \varphi_1)}. \quad (5)$$

Полученными формулами можно воспользоваться только при известном значении  $\varphi_1$ . Зависимость для определения  $\varphi_1$  выводим из условия совпадения точек приложения сил  $N$  и  $N_p$ , которое определяем, пользуясь известной формулой:

$$e_2 = \frac{S_p}{N_p},$$

где  $S_p$  — суммарный статический момент элементарных реактивных усилий  $dN_p$  относительно центра сечения (начала координат).

Для определения  $S_p$  предварительно находим величину элементарного статического момента:

$$dS_p = x dN_p = \frac{2z_{\max}}{R-a} x(x-a) \sqrt{R^2 - x^2} dx \quad (6)$$

и интегрируя ее, получаем:

$$S_p = \frac{2z_{\max}}{R-a} \int_a^R x(x-a) \sqrt{R^2 - x^2} dx.$$

Произведя замену переменной:

$$S_p = \frac{\sigma_{\max} R^3}{12(1 - \cos \varphi_1)} [3\varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 (3\cos^2 \varphi_1 + 5\sin^2 \varphi_1)],$$

следовательно,

$$e_p = R \frac{3\varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 (3\cos^2 \varphi_1 + 5\sin^2 \varphi_1)}{4[\sin \varphi_1 (2 + \cos^2 \varphi_1) - 3\varphi_1 \cos \varphi_1]}.$$

Принимая во внимание, что  $e_0 = e_0$ , окончательно получим следующее уравнение для определения  $\varphi_1$ :

$$\frac{e_0}{R} = \frac{3\varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 (3\cos^2 \varphi_1 + 5\sin^2 \varphi_1)}{4 [\sin \varphi_1 (2 + \cos^2 \varphi_1) - 3\varphi_1 \cos \varphi_1]} \quad (7)$$

Последовательность определения  $\varepsilon_{\max}$  при  $\frac{e_0}{R} > 1$  с использованием полученных формул такова:

а) по известным усилиям  $N$  и  $M$  вычисляют эксцентриситет  $e_0$  и  $\frac{e_0}{R}$ ;

б) из уравнения (7) в зависимости от  $\frac{e_0}{R}$  определяют  $\varphi_1$ ;

в) исходя из полученного значения  $\varphi_1$ , по формуле (5) вычисляют коэффициент  $\alpha$ , а по формуле (2) —  $\varepsilon_{\max}$ .

Учитывая, что решение уравнений (5) и (7) сопряжено с известными трудностями, значения коэффициента  $\alpha$  в интервале  $\frac{e_0}{R} = 0,25 \dots 0,5$  подсчитаны на ЭЦВМ «Цирк-2» и табулированы (табл.).

Таблица

| $\frac{e_0}{R}$ | *    | $\frac{e_0}{R}$ | *    | $\frac{e_0}{R}$ | $\alpha$ |
|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|----------|
| 0               | 1    | 0.17            | 0.6  | 0.34            | 0.42     |
| 0.01            | 0.96 | 0.18            | 0.58 | 0.35            | 0.41     |
| 0.02            | 0.93 | 0.19            | 0.57 | 0.36            | 0.4      |
| 0.03            | 0.89 | 0.2             | 0.55 | 0.37            | 0.39     |
| 0.04            | 0.86 | 0.21            | 0.54 | 0.38            | 0.38     |
| 0.05            | 0.83 | 0.22            | 0.53 | 0.39            | 0.37     |
| 0.06            | 0.81 | 0.23            | 0.52 | 0.4             | 0.36     |
| 0.07            | 0.78 | 0.24            | 0.51 | 0.41            | 0.36     |
| 0.08            | 0.76 | 0.25            | 0.5  | 0.42            | 0.35     |
| 0.09            | 0.74 | 0.26            | 0.49 | 0.43            | 0.34     |
| 0.10            | 0.71 | 0.27            | 0.48 | 0.44            | 0.33     |
| 0.11            | 0.69 | 0.28            | 0.47 | 0.45            | 0.32     |
| 0.12            | 0.68 | 0.29            | 0.46 | 0.46            | 0.31     |
| 0.13            | 0.66 | 0.30            | 0.45 | 0.47            | 0.3      |
| 0.14            | 0.64 | 0.31            | 0.44 | 0.48            | 0.3      |
| 0.15            | 0.62 | 0.32            | 0.43 | 0.49            | 0.29     |
| 0.16            | 0.61 | 0.33            | 0.42 | 0.5             | 0.28     |

Принятые пределы интервала для  $\frac{e_0}{R}$  охватывают практически все случаи определения максимальных краевых напряжений при регла-

менгируемых нормами ограничения положения вертикальной равнодействующей активных сил по подошве фундамента.

Максимальные краевые напряжения для случая  $\frac{e_0}{\rho} < 1$  с целью унификации расчета можно также определить по формуле (2). При этом коэффициент  $\alpha$  вычисляют по формуле, полученной при совместном решении (1) и (2):

$$\alpha = \frac{1}{1 + 4 \frac{e_0}{R}} \quad (8)$$

Числовые значения коэффициента  $\alpha$ , определенные по (8) для интервала  $\frac{e_0}{R} = 0 \dots 0,25$ , также приведены в таблице, что существенно расширяет возможности ее применения и сокращает вычислительные операции, связанные с определением краевых напряжений  $\sigma_{\max}$  по подошве круглых фундаментов.

По мере увеличения  $\frac{e_0}{R}$  разница в значениях  $\alpha$ , определенных по полученным формулам и существующей приближенной формуле, возрастает. Так, например, при допуске, в случае расчета опоры моста на сейсмике, выходе вертикальной равнодействующей активных сил  $\frac{e_0}{\rho} = 1,5 \left( \frac{e_0}{R} = 0,375 \right)$  [3], краевые напряжения  $\sigma_{\max}$ , определенные по обоим способам, имеют следующие значения:

$$\sigma_{\max} = 2,6 \sigma_{\text{ср}} \quad \text{и} \quad \sigma_{\max} = 2,13 \sigma_{\text{ср}},$$

т. е. разница составляет 18,1%.

Использование приближенной формулы (3) в процессе определения краевых напряжений по подошве круглых фундаментов, работающих неполным сечением, приводит к занижению фактических напряжений на 10–20%, что недопустимо. Применение приведенных в статье формул позволит точно определять указанные краевые напряжения, что будет способствовать улучшению качества проектирования опор мостов, опирающихся на фундаменты круглого сечения. Они могут найти применение и в области проектирования фундаментов объектов промышленно-гражданского строительства.

Главмостострой

22. IX. 1962

Ի. Կ. ԿՈՒՆԻՋԱՆՈՎ

ՈՉ ԼՐԻՎ ԿՏՐՎԱՆՔՈՎ ԱՇԽԱՏՈՎ ԿԼՈՐ ՀԻՔԷՐ ՀԻՄՆԱՏԱԿԻ  
ԵՃՐԱՅԻՆ ԼԱՐՄԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Վ

Բերվում է ոչ լրիվ կտրվածքով աշխատող կլոբ հիմքի հիմնառակի եզրային լարման որոշման ճշտված մեթոդը:

Հաստատված է, որ կամրջային հենարանների ոչ լրիվ կտրվածքով աշխատող կլոր հիմքի հիմնատակի եզրային լարման որոշման գոյությունն ունեցող ձևը, որը լայն կիրառություն է գտել, բերում է եզրային լարման փաստացի նշանակության մինչև 20% իջեցման:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Евграфов Г. К., Лялик Н. Б. Расчет мостов по предельным состояниям — М.: Трансжелдориздат, 1962 — 281 с.
2. Коваленко С. Н. Опоры мостов. — М.: Транспорт, 1966 — 196 с.
3. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования — М.: Строиниздат, 1982. — 19 с.