

УДК 624.131.531.1

М. В. М а л ы ш е в

К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В данной статье излагается способ определения несущей способности основания по сравнительно простой схеме, известной в другой постановке в течение многих десятилетий, которой воспользовался также С.И.

Белзецкий [1] Обзор многих инженерных методов был дан П.Д.Евдокимовым [2], А.А.Ничипоровичем [3], Е.Захареску [4], А.Кэзди [5] и рядом других авторов.

Схема предполагает разрывное решение, которое было использовано еще Г.Е.Паукером [6], однако без детального указания на это обстоятельство. Г.Е.Паукер и С.И.Белзецкий [1] границу между областями активного и пассивного давлений (рис. 1) или соответственно минимального и максимального напряженных состояний [7], т.е. границу между областями 1 и 2, приняли вертикальной, что вполне соответствует характеру нагрузки, не имеющей горизонтальной составляющей. Г.Е.Паукер вес грунта в зоне выпирания не учитывал, а С.И.Белзецкий его учел.

Рассмотрим нагрузку, имеющую горизонтальную составляющую (рис. 2) напряжений t и вертикальную составляющую P , а равнодействующая напряжений равна

$$z = \sqrt{P^2 + t^2}.$$

Угол δ_1 связан с этими напряжениями соотношением

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{t}{P}.$$

Давление P , соответствующее исчерпанию несущей способности основания, определяется формулой

$$P = \frac{1}{2} N_p \gamma \delta + N_q q + N_c k,$$

где N_p , N_q , N_c - коэффициенты несущей способности, зависящие от угла внутреннего трения φ и угла наклона нагрузки δ ; k - удельное сцепление; q - пригрузка; δ - ширина фундамента. Вопрос вычисления коэффициентов N_q , N_c и N_p решается с использованием избранной схемы выпирания. ряд значений коэффициентов приведен в публикациях [4, 5] и других.

Отличие описываемой схемы от принятой С.И.Белзецким и Н.М.Герсевановым [1] заключается в том, что линия раздела между призмами отпора 2 и распора 1 (рис. 2) принимается не вертикальной, а под углом α . Отсчет α ведется против часовой стрелки от вертикали, причем призма не считается активной. Величину угла α определяет исходя из условия, что вдоль границы между призмами имеет место разрыв в напряжениях σ_n , а непрерывными оказываются напряжения σ_t и τ_{nt} (рис. 3). В частном случае вертикальной нагрузки угол α при этих предположениях оказывается равным нулю, и мы имеем переход к схеме С.И.Белзецкого. В качестве положительного направления α принято направление против часовой стрелки [7]. Воспользуемся формулами преобразования [7]:

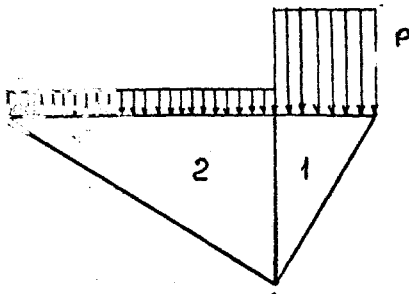


Рис. 1. Расчетная схема при вертикальной нагрузке:

1 - зона минимального напряженного состояния; 2 - зона максимального напряженного состояния

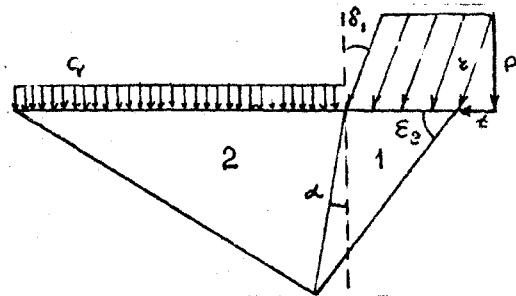


Рис. 2. Расчетная схема при наклонной нагрузке:

1 - зона минимального напряженного состояния; 2 - зона максимального напряженного состояния

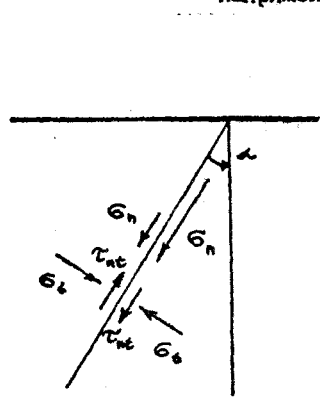


Рис. 3.

Напряжения на границе между зонами минимального и максимального напряженных состояний

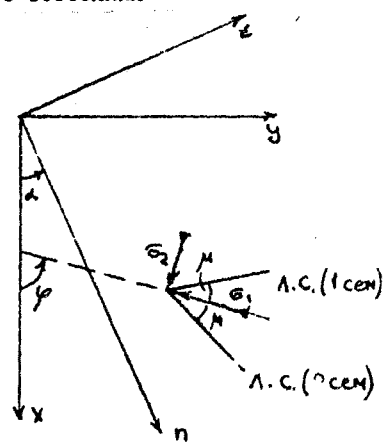


Рис. 4.

Схема для вычисления напряжений, действующих по наклонным площадкам

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma(1 + \sin \rho \cos 2\varphi) - H; \\ \sigma_y &= \sigma(1 - \sin \rho \cos 2\varphi) - H; \\ \tau_{xy} &= \sigma \sin \rho \cdot \sin 2\varphi,\end{aligned}\quad (1)$$

где $H = k\sigma^2 \rho$, а также

$$\begin{aligned}\sigma_n &= \sigma [1 + \sin \rho \cos 2(\varphi - \alpha)] - H; \\ \sigma_t &= \sigma [1 - \sin \rho \cos 2(\varphi - \alpha)] - H; \\ \tau_{nt} &= \sigma \sin \rho \sin 2(\varphi - \alpha).\end{aligned}\quad (2)$$

Угол φ представлен на рис. 4. Рассмотрим случай с сыпучей средой, когда $k = 0$. Для зоны 2 имеем простой случай, когда

$$\sigma_x = q, \quad \tau_{xy} = 0, \quad \sigma_y = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho} q.$$

Отсюда

$$\sigma = \sigma_q = \frac{q}{1 - \sin \rho}.$$

Кроме того, $\varphi = \frac{\pi}{2}$. Более сложными будут формулы для зоны 1, где имеет место наличие касательных напряжений на границе $z_{12} = t$ и нормальных $\sigma_t = p$. Легко установить угол $\varphi = \varphi_p$, который равен [7]

$$\varphi_p = -\frac{\delta_i}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_i}{\sin \rho}. \quad (4)$$

Угол ε_2 равен

$$\varepsilon_2 = \frac{\pi}{2} - \mu + \varphi_p = \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2} + \varphi_p,$$

причем

$$\mu = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}.$$

Воспользовавшись формулой (3) и произведя приравнивание касательных напряжений у границы раздела зон I и 2 (см. рис. 2), получим уравнение для определения угла α :

$$\sin 2(\varphi_p - \alpha) [1 + \sin \rho \cos 2\alpha] = \sin 2\alpha [1 - \sin \rho \cos 2(\varphi_p - \alpha)], \quad (5)$$

где φ_p определяется по (4), а уравнение (5) решается методом подбора. Затем, воспользовавшись формулой (2) для зон I и 2 и формулой (1), после ряда преобразований получим формулу, связывающую p и q для косої нагрузки:

$$p = \gamma \frac{(1 + \sin \rho \cos 2\alpha)(1 + \sin \rho \cos 2\varphi_p)}{(1 - \sin \rho)[1 - \sin \rho \cos 2(\varphi_p - \alpha)]} = N_q \cdot q.$$

Это и будет выражение для определения коэффициента N_q . В частном случае, рассмотренном С.И.Белзецким, имеем $\delta_1 = 0$, откуда $\varphi_p = 0$ и по (5) $\alpha = 0$. Тогда для N_q получим известную формулу

$$N_q = \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right)^2.$$

В заключение рассмотрим еще один вопрос, касающийся получения значения угла внутреннего трения путем приравнивания величин коэффициентов N_q по схеме С.И.Белзецкого и по схеме Прандтля [5]. Таким образом, если для значения N_q по Прандтлю угол внутреннего трения обозначим через φ , а по С.И.Белзецкому φ_B , то будем иметь

$$\left(\frac{1 + \sin \varphi_B}{1 - \sin \varphi_B} \right)^2 = e^{\pi + 9\varphi} \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = A.$$

Отсюда получим

$$\varphi_B = \arcsin \frac{\sqrt{A} - 1}{\sqrt{A} + 1}.$$

Для $\varphi = 30^\circ$ получим $\varphi_B = 38,5^\circ$. Естественно, что для коэффициентов N_c и N_γ численные соотношения будут иными.

Приведенные выше соотношения и положения о простейшей схеме открывают дальнейшие возможности ее использования, например, к слоистому напластованию грунтов в основаниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Л.-М.: Госстройиздат, 1961. Т. II.
2. Евдокимов П.Д. Прочность оснований и устойчивость гидротехнических сооружений на мягких грунтах. М.: Госэнергоиздат, 1956.
3. Ничипорович А.А. Устойчивость бетонных водоподпорных сооружений на нескальных грунтах. М.: Госстройиздат, 1957.
4. Zaharescu E. Contributii la studiul capacitatii portante a fundatiilor. Bucuresti: Editura Academiei Republicii Populare Romane, 1961.
5. Kezdi A. Rethati L. Handbook of Soil Mechanics. Akademiai kiado. Budapest, 1983. V. 3.
6. Курдюмов В.И. Краткий курс оснований и фундаментов. 3-е изд. Спб.: Гольстен, 1916.
7. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. 2-е изд. М.: Гостехтеориздат, 1964.