

# МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ В ГРУНТАХ

МАЛЫШЕВ М. В., проф., НИКИТИНА Н. С., доц.,  
 Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева

Описываемый инженерный способ расчёта осадок оснований, в котором учитывается нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями, позволяет определять осадку в интервале нагрузок вплоть до исчерпания несущей способности грунтового основания. График зависимости между осадкой  $S$  и нагрузкой  $P$  /Рис. 1 а, б/ состоит из двух участков, причём первый соответствует линейной зависимости между напряжениями и деформациями и для него на графике характерна прямая линия, а второму участку соответствует нелинейная зависимость между этими величинами. При нагрузке, отвечающей несущей способности основания и обозначенной  $P_2$ , принято, что осадка становится бесконечной  $S = \infty$  или  $S \rightarrow \infty$ . Осадку  $S_1$ , отвечающую пределу линейного участка, определяется по одному из существующих решений, основанных на теории упругости. Мы же заменяем деформирующееся полупространство эквивалентным по осадке деформирующимся "столбом", в котором имеет место однородное напряжённое состояние, то есть часть основания, непосредственно расположенной под фундаментом и повторяющей его контуры. В интервале изменений давлений  $0 \leq P \leq P_1$  условно рассматривается массив грунта под фундаментом, находящийся в условиях отсутствия бокового расширения. После достижения предельной величины осадки  $S_1$  первого участка, характеризуемого линейной зависимостью между напряжениями и деформациями, изменяется схема расчёта и далее для второго участка предполагается возможность бокового расширения грунта. Боковое давление  $q$  на этот столб грунта при нагрузке  $P_1 - P_2$  принимается зависящим линейно от вертикального давления  $P$ , то есть считается, что

$$q = \frac{P_2 q_1 - P_1 q_2}{P_2 - P_1} + P \frac{q_2 - q_1}{P_2 - P_1} \quad /1/$$

Значение  $q_2$  находится по формуле, отвечающей невозможности бокового расширения

$$q_1 = \frac{M}{1 - \mu} P_1 \quad /2/$$

а  $q_2$  определяется из условия предельного равновесия

$$q_2 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} P_2 - \frac{2c \cdot \cos \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad /3/$$

Для вычисления осадки, соответствующей второму участку, представляется возможным учитывать переменность модуля сдвига  $G$  и зависимость его от действующих напряжений. Модуль сдвига грунта описыва-

ется дробно-линейной функцией от деформации сдвига по Боткину [1] откуда получаем простую формулу

$$G = \frac{P_2 - P}{P_2 - P_1} \cdot \frac{E}{1 + \mu}, \quad /4/$$

где  $P_1 \leq P \leq P_2$ . Если касательная к кривой при  $P = P_2$  вертикальна, то имеем

$$S = S_1 \frac{P(P_2 - P_1) - (P_2 - P)P_1}{P_1(P_2 - P)}. \quad /5/$$

Полная осадка при изменении нагрузки в пределах  $P_1 \leq P \leq P_2$  равна

$$S = h \frac{P - P_1}{3E} \left\{ \frac{2(1 + \mu)}{P_2 - P} [P_2 - P_1 - (q_2 - q_1)] + \frac{1 - 2\mu}{P_2 - P_1} [P_2 - P_1 + 2(q_2 - q_1)] \right\}. \quad /6/$$

Когда касательная к кривой не вертикальна при предельной нагрузке, окончательная осадка вычисляется по формуле

$$S = S_1 \frac{P_2 + \sqrt{P_1 S_1 / (P_1 S_2)}}{P_1 (1 + \sqrt{S_1 / (P_1 S_2)})}, \quad /7/$$

причём  $ds/dp = S'_2$ , см. Рис. I, б/.

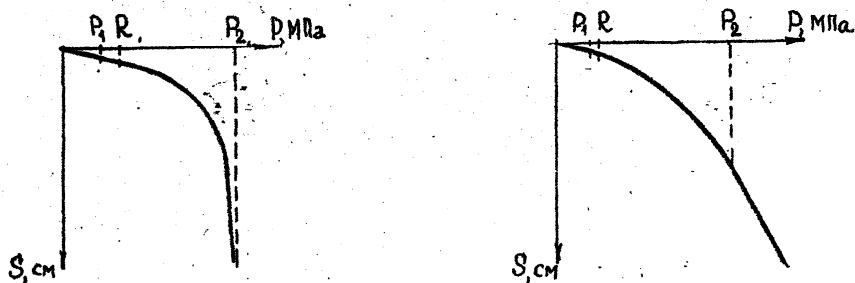


Рис. I. Зависимость осадки  $S$  от нагрузки  $P$ ; а/ при вертикальной касательной в предельном состоянии, б/ при наклонной касательной в предельном состоянии  $ds/dp = S'_2$ .

Несущая способность  $P_2$  основания может быть определена каким-либо известным методом. Для этого предлагается использовать формулу Терпаги с тремя коэффициентами несущей способности.

Способ расчёта осадки, описанный выше применительно к однородному грунту, может быть распространён и на основания, которые сложены различными по прочностным свойствам грунтами, то есть на много-

сложные основания. Определение несущей способности  $P_2$  для одно-  
 слойного и многослойного оснований базируется на уже отработанной  
 и простой физической схеме, предложенной ещё Веллевицки [6].

Для определения коэффициентов несущей способности  $N_2, N_3, N_6$   
 рассмотрим плоское многоугольное действующее поле для каждого из ко-  
 эффициентов /рис. 2/, в результате чего были получены аналитические  
 выражения для них в соответствии с использованной расчётной  
 схемой

$$N_2 = \text{ctg } \beta [\text{ctg } \beta \cdot \text{ctg}^2 \epsilon \cdot \text{tg} (\beta + \varphi) - 1];$$

$$N_3 = \text{ctg } \beta \cdot \text{ctg}^2 \epsilon \cdot \text{tg} (\beta + \varphi);$$

$$N_6 = (2m + 1) \text{tg} (\beta + \varphi) + \text{ctg } \beta,$$

где  $\epsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}; m = \text{ctg } \beta \cdot \text{ctg } \epsilon.$

1а/

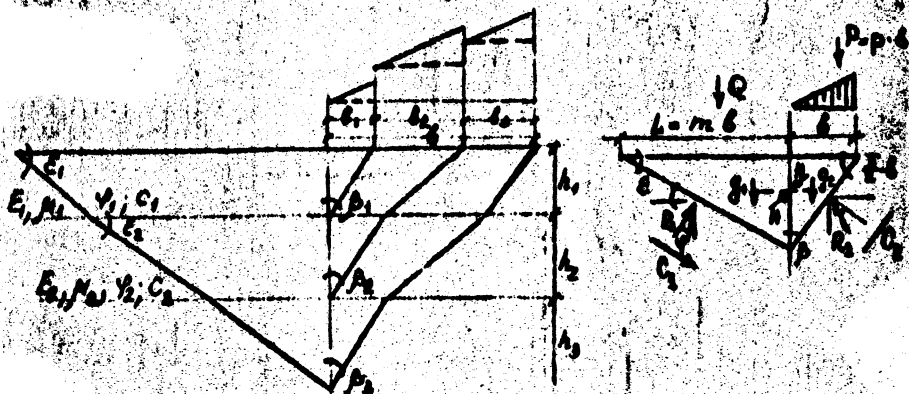


Рис. 2. Расчётная схема для определения коэффициентов не-  
 сущей способности по формуле /11/

Определив коэффициенты несущей способности  $N_2, N_3, N_6$  одно-  
 слойного основания, можно перейти к определению несущей способности  
 двухслойного и трехслойного оснований. Для двухслойного основания  
 имеют следующие выражения для названных коэффициентов

$$N_2^{2\text{-л}} \cdot \delta_{cp} = (N_2^1 \cdot \delta_1^1 - N_2^0 \cdot \delta_1^0) (K, h^1/b)^2 + N_2^0 \cdot \delta_1^0$$

$$N_3^{2\text{-л}} = (N_3^1 - N_3^0) (K, h^1/b) + N_3^0$$

$$N_6^{2\text{-л}} \cdot c_{cp} = (N_6^1 \cdot c_1^1 - N_6^0 \cdot c_1^0) (K, h^1/b) + N_6^0 \cdot c_1^0$$

1б/

Для трёхслойного основания будем иметь

$$N_8^{cp} \delta_{cp} = \left( \frac{K_1 h_1}{b} \right) (N_8' \delta_1' - N_8'' \delta_1'') + \left( \frac{K_1 h_1 + K_2 h_2}{b} \right) (N_8'' \delta_1'' - N_8''' \delta_1''') + \dots$$

$$N_9^{cp} = (N_8' - N_8'') (K_1 h_1 / b) + N_8''$$

$$N_0^{cp} \cdot c_{cp} = (N_0' c_1 + N_0'' c_2) \frac{K_1 h_1}{b} + N_0''' c_3 \frac{(K_1 h_1 + K_2 h_2)}{b} + N_0'' c_3$$

Здесь коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  определяются для каждого слояности от угла внутреннего трения  $\varphi_i$ , причем  $K_1 = K_2$

$\varphi^\circ$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$K_1 = K_2$	1	0,87	0,76	0,66	0,56	0,48	0,40	0,33	0,27

Для двух- и трёхслойных оснований вычисление предельной  $P_2$ , соответствующего полному исчерпанию несущей способности грунта, производится с помощью оговоренных значений коэф. по формуле

$$P_2 = \frac{1}{2} N_8^{cp} \delta_{cp} \cdot b + N_9^{cp} q + N_0^{cp} \cdot c_{cp}$$

Описанный выше способ расчёта может быть применён как к ним, так и многослойным основаниям для вычисления осадки

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Боткин. О прочности ошпучих и хрупких материалов. НИИ Гидротехники, т. XXVI, 1940, -Л.
2. Е. Дембицкий, А. Тейхман. Избранные проблемы фундаментос гидротехнических сооружений. -М.: Транспорт, 1981.
3. М.В. Малышев. Прочность грунтов и устойчивость оснований. -М.: Стройиздат, 1980.
4. М.В. Малышев, Н.С. Никитина. Расчёт осадок фундаментов и нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями. Журн. "Основания, фундаменты и механика грунтов" № 2.
5. Н.С. Никитина. Несущая способность многослойных оснований. "Основания, фундаменты и механика грунтов" № 4, 1986.
6. В.А. Флорин. Основы механики грунтов. -Л. М. том 2, Госстат, 1961.
7. Bukowski K., Rymasz B. Okreslenie nieliniowych osiadań fundamentowych. IX Krajowa konferencja mechaniki gruntow

# METHOD OF CALCULATION OF THE SETTLEMENTS FOR THE SHALLOW FOUNDATIONS WITH THE NON-LINEAR STRESS-STRAIN RELATIONSHIP FOR THE SOILS

MALYSHEV N.V., Prof., NIKITINA N.S., Ass. prof.  
Moscow Civil Engineering Institute

By this method it is possible to get the non-linear stress-settlement relationship. The settlement-stress curve has two parts - the first is linear and the second is non-linear. The contact of these two parts is smooth, without break. The first part is limited by the value of the stress, which is calculated by the usual recommendations of the Code of practice. The second part is characterized by the curve, which has the vertical tangent when the stress coincide with the value of the bearing capacity of the foundation base. For the second part it is important to take into account the non-linear relationship for the shear modulus. The zone of the foundation base it is used in the scheme is the column which has the form of parallelepiped with the base coincide in full with the footing of the foundation. This column deformed without any lateral expansion when we have the first part of the stress-settlement curve. For the second part when the stresses increase we give the assumption to have the lateral deformations to this column. In this case the lateral stress go to the limit equilibrium value for the soil. The bearing capacity at first was calculated for homogeneous base, and after this it is given the method for the calculation the average values of the factors of bearing capacity if in the foundation base we have two, three or more layers with the different strength characteristics.