

УДК 624.15

М. В. Крутикова

К ВОПРОСУ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

В статье идет речь о новом способе определения осадки грунтового основания фундамента, которого нет в учебной литературе. В этом способе используются известные физические и механические характеристики грунта и компрессионные зависимости. Существующие методы расчета учитывают глубину сжатия грунта по вертикали, а предлагаемый метод учитывает в процессе деформирования грунта под нагрузкой ещё и смещение грунта по горизонтальным плоскостям, что близко к реальным условиям. Для решения практических задач способ требует дальнейшей доработки и составления удобных таблиц объемов грунта для расчета деформаций.

Статья будет интересна для студентов, изучающих дисциплины «Механика грунтов», «Основания и фундаменты», а так же для инженеров проектировщиков оснований и фундаментов зданий и сооружений.

Ключевые слова: грунтовое основание; деформация основания; сжимаемая зона.

На сегодняшний день существует более двух десятков методов определения деформаций грунтового основания под нагрузкой. И существующие способы расчета деформаций грунтовых оснований имеют схему, позволяющую вычислять осадки основания с хорошей точностью для практики строительства.

Эти способы основаны на принципе линейной деформируемости в зоне сжатия грунта. По принципу линейной деформируемости величина деформации пропорциональна давлению на грунт основания определяется по формуле

$$\varepsilon = \alpha \sigma, \quad (1)$$

где α – коэффициент пропорциональности;

σ – напряжения, определяемые по оси фундамента.

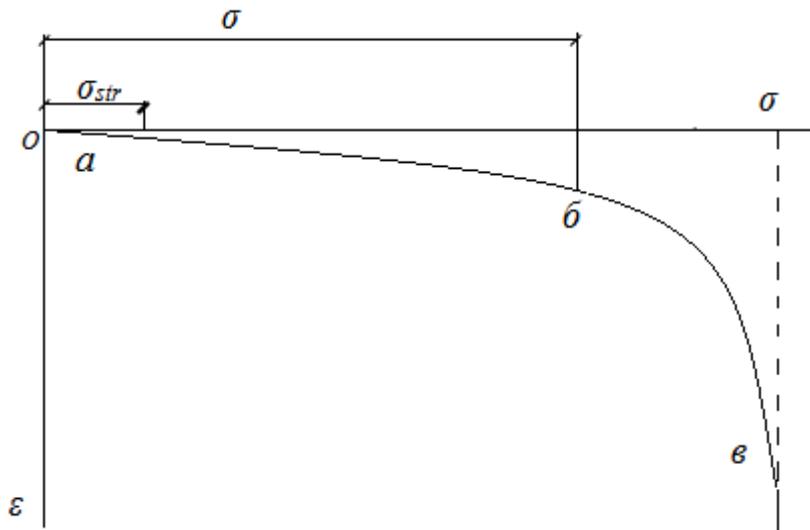


Рис. 1. Зависимость между деформациями ε и нормальными напряжениями

σ : σ_{str} – структурная прочность грунта

Считается, что пока напряжения не достигли величины структурной прочности, уплотнение грунта не происходит.

Напряжения σ определяются в границах сжимаемой зоны H_c , определяемой по вертикали (рис. 2). Но в существующих методах расчета не оцениваются границы сжимаемой толщи по горизонтальным плоскостям.

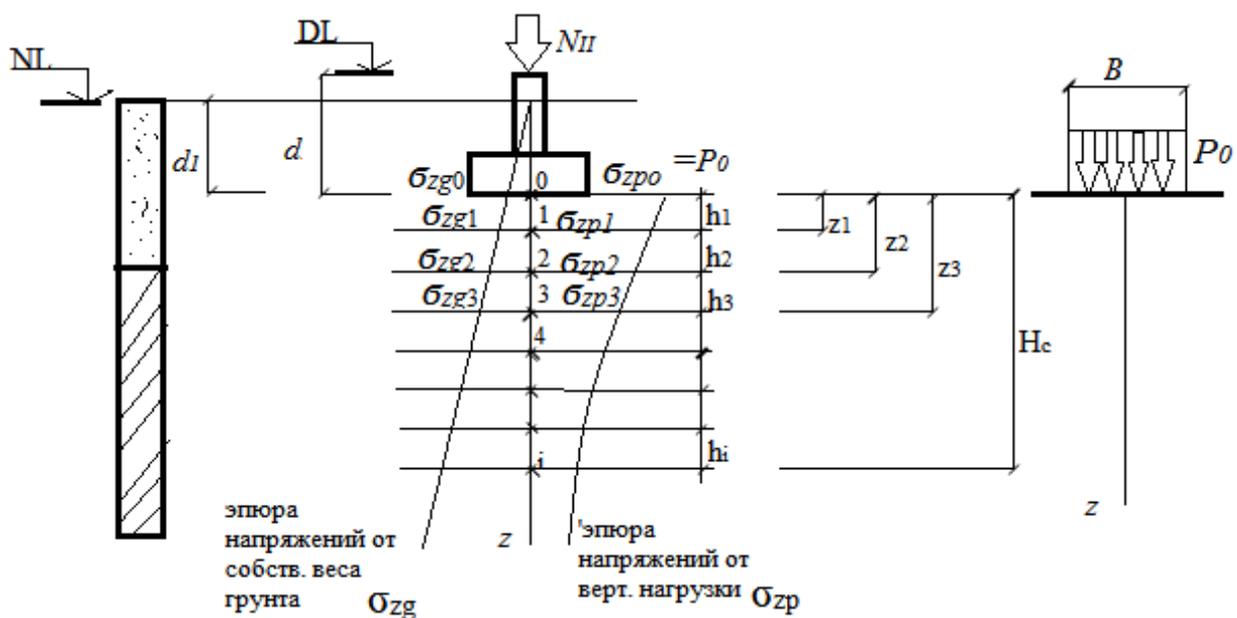


Рис. 2. Схема определения напряжений методом послойного суммирования

Глубина сжимаемой зоны в методе послойного суммирования определяется на глубине $z = H_c$, где выполняется условие

$$\sigma_{zpi} \geq 0,5 \sigma_{zgi}, \quad (2)$$

Идея предлагаемого метода принадлежит Яссиевичу Г.Н., который проработал на кафедре «Строительного производства» более тридцати лет и не успел довести свою идею до полной разработки.

Предлагаемый способ определения деформации использует известные физико-механические характеристики грунта и компрессионные зависимости. Необходимо знать коэффициент пористости e_0 , удельный вес грунта γ , угол внутреннего трения φ , удельное сцепление C , структурную прочность σ_{str} , коэффициент компрессии C_c . Две последних величины можно получить, имея график компрессионной кривой в полулогарифмических осях (рис.3). Структурная прочность определяется по характерному изменению компрессионной кривой. Так же, структурную прочность можно рассчитать по формуле, предложенной Соколовским В.В.

$$\sigma_{str} = (2 \cdot C \cdot \cos \varphi) / (1 - \sin \varphi). \quad (3)$$

Коэффициент компрессии это тангенс угла наклона полулогарифмической кривой к оси давлений (напряжений) определяется по формуле

$$C_c = \frac{e_0 - e_x}{\ln \left(\frac{P_x}{\sigma_{str}} \right)}. \quad (4)$$

Коэффициентам пористости e_0 и e_x соответствуют нагрузки σ_{str} и P_x .

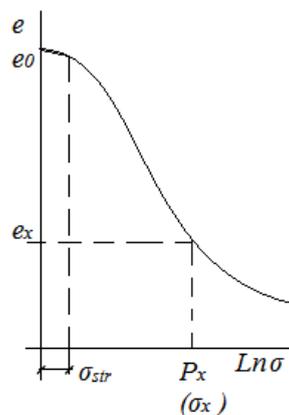


Рис. 3. Компрессионная кривая в полулогарифмических координатах

При нагружении квадратного штампа под его подошвой образуются области грунта с измененными физико – механическими характеристиками из-за уплотнения под нагрузкой (рис.4). Грунт находится в фазе уплотнения и его характеристики улучшаются. Чем больше расстояние от подошвы штампа, тем меньше значение деформации грунта. При нагружении грунт сжимается и штамп оседает. Под штампом в стороны от вертикали вытесняется некоторый объем грунта. Очевидно, что этот вытесненный объем будет равен сумме объемов локальных областей Σa_i . Граничная поверхность деформируемой области – эта та поверхность, на которой выполняется условие

$$\sigma = \sigma_{str}, \quad (5)$$

где σ – действующее напряжение по любому направлению;

σ_{str} – структурная прочность грунта в месте действия напряжения.

Из рисунка (4) осадка штампа определяется из формулы равенства объемов

$$S A = \Delta V, \quad (6)$$

где A – площадь штампа;

ΔV – изменение объема деформируемого грунта.

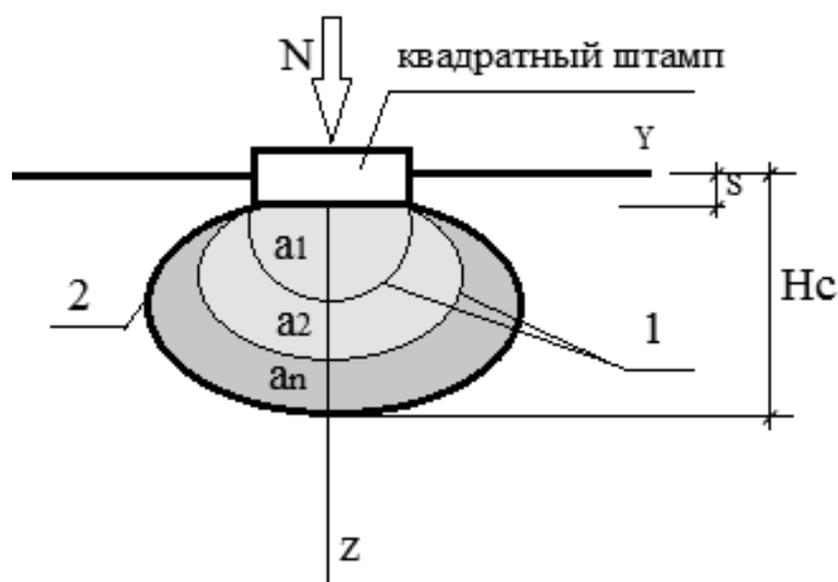


Рис. 4. Деформируемые объемы грунта: 1 – локальные криволинейные поверхности активной зоны; 2 – граничная поверхность активной зоны; $a1 \dots an$ – объемы локальных областей; S – осадка штампа

Технические науки

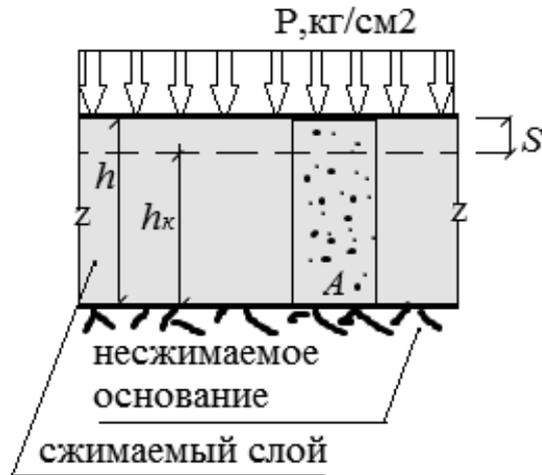


Рис. 5. Схема сжатия слоя при сплошной нагрузке: h – начальная высота образца; h_k – конечная высота образца; A – площадь поперечного сечения цилиндра грунта; S – осадка слоя

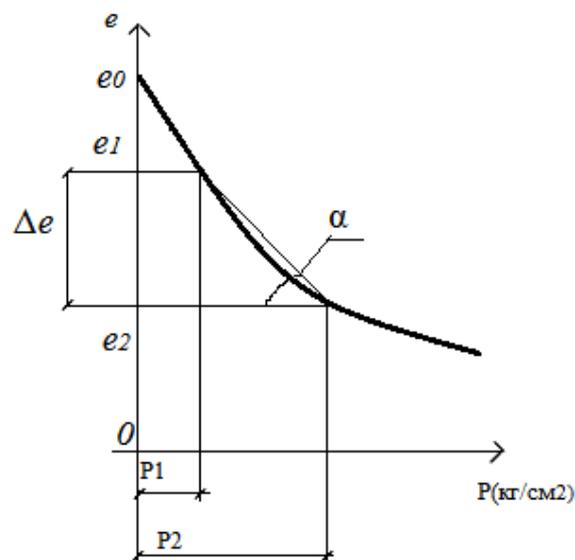


Рис. 6. Компрессионная кривая: e_0 – природный коэффициент пористости; e_1 – начальный коэффициент пористости при нагрузке P_1 ; e_2 – конечный коэффициент пористости при нагрузке P_2

Осадку слоя грунта при сплошной нагрузке при условии равенства объемов минеральных частиц до нагружения и после нагружения определяется по известной формуле

$$S = h \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1}, \quad (7)$$

где h – начальная высота образца грунта;

e_1, e_2 – начальный и конечный коэффициенты пористости;

$\frac{e_1 - e_2}{1 + e_1}$ – относительное изменение пористости в единице объема.

$$\frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} = \frac{\Delta V_{1,2}}{V}, \quad (8)$$

где $\frac{\Delta V_{1,2}}{V}$ – изменение локального объема грунта под штампом после нагружения штампа;

V – общий объем грунта сжимаемой зоны.

Учитывая, что коэффициент пористости это изменение относительного объема пор к относительному объему минеральных частиц ($e = V_n/V_m$), то подставляя в формулу (8) изменение объема пор, будем иметь формулу определение деформации грунтового основания

$$s = \frac{V_{сж}}{A} \cdot \frac{\Delta V_{n1,2}}{V}, \quad (9)$$

где $\frac{\Delta V_{n1,2}}{V}$ – относительное изменение пористости в единице объема;

$\frac{V_{сж}}{A}$ – величина высоты столбика грунта с основанием A (рис.5) после

нагружения, т. е. после сжатия.

Объем столбика грунта приравниваем к объему сжатой зоны грунтового основания штампа.

Формула (9) – исходная формула для определения осадки фундамента.

Относительное изменение пористости в единице объема можно вычислить, пользуясь полулогарифмической зависимостью. Из формулы (4) имеем

$$e_x = e_0 - C_c \ln \left(\frac{P_0}{\sigma_{str}} \right). \quad (10)$$

Учитываем формулу (10) и заменяем разность ($e_1 - e_2$), будем иметь формулу:

$$e_1 - e_2 = e_0 - C_c \ln \left(\frac{P_1}{\sigma_{str}} \right) - \left[e_0 - C_c \ln \frac{P_2}{\sigma_{str}} \right] = C_c \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right). \quad (11)$$

В формуле (11) $P_2 > P_1$, т.е. меньшему коэффициенту пористости e_2 соответствует большая нагрузка P_2 . Подставляя в формулу (8) полученный в формуле (11) результат, и, заменяя e_1 на e_0 (так, как это небольшие величины, то ошибка невелика) будем иметь выражение

$$\frac{\Delta V_{1,2}}{V} = \frac{C_c}{1+e_0} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right). \quad (12)$$

Исходная формула для определения деформаций грунтовых оснований фундаментов будет иметь вид

$$S = \frac{V_{сж}}{A_{\phi}} \cdot \frac{C_c}{1+e_0} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right), \quad (13)$$

где A_{ϕ} – площадь фундамента.

Для решения практических задач необходимо принять геометрическую объемную фигуру для определения сжатого объема грунта. Для отдельных фундаментов удобна усеченная сфера, а для ленточных – усеченный цилиндр.

Дальнейшее изучение этого метода предполагает приведение формулы (13) к удобной для расчета форме для фундаментов с различной формой подошвы и сравнение результатов практического расчета деформаций оснований фундаментов по СНиП и предлагаемому методу.

Список литературы

1. *Цытович Н. А.* Механика грунтов: учеб. для вузов. 3-е изд., доп. М.: Высш. шк., 1979. 272 с.
2. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений: актуализир. ред. СНиП 2.02.01-83*: введ.20.05.2011. М.: ЦПП, 2011. Доступ из нормат.-технич. системы «Техэксперт».

КРУТИКОВА Мария Владимировна – старший преподаватель кафедры СП, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: kr.mar140963@yandex.ru