

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗОНЫ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСЧЕТЕ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТА ИНТЕГРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Ю.В. Матус

Приведена, полученная по результатам обработки экспериментальных данных, аналитическая зависимость глубины зоны деформации в однородном и многослойном грунтовом массиве от площади подошвы фундамента, соотношения ее сторон, среднего давления под подошвой и модуля деформации грунта.

В интегральном методе проф. В.Н. Голубкова при расчете осадки в качестве основания фундамента принято геометрическое тело — зона деформации, представляющее собой расположенный ниже подошвы фундамента локальный объем грунта, деформированный внешней нагрузкой. При плоской постановке задачи (1,2) в расчете используются следующие параметры основания: модуль общей деформации грунта $E_{гр}$ и глубина зоны деформации H_a . Эти параметры интегрально учитывают все свойства грунтового основания как деформируемой системы.

Модуль деформации грунтового основания $E_{гр}$ определяется по результатам испытания на сжатие образцов грунта при возможности бокового расширения или в полевых условиях при штамповых испытаниях, проводимых с замером глубины зоны деформации с помощью фиксаторов перемещений или глубинных марок. В первом приближении при однородном основании значение модуля деформации $E_{гр}$ может быть найдено в зависимости от компрессионного модуля E_0 по экспериментальному графику, приведенному в работах [1,3], который при давлениях p под подошвой фундамента, меньших или равных 0,3 МПа, достаточно хорошо аппроксимируется выражением

$$E_{гр} = 0,38 E_0.$$

В тех же работах [1,3] представлен экспериментальный график зависимости глубины зоны деформации от площади A квадратной подошвы фундамента, давления p под подошвой и модуля деформации $E_{гр}$. График представляет собой семейство кривых линий, каждая из которых соответствует определенным значениям p , равным 0,1, 0,2 или 0,3 МПа, и интервалом изменения $E_{гр}$ — 0,5...1,0, 1,5... 2,5 и 5,0...10,0 МПа.

В общем виде сложную зависимость глубины зоны деформации от указанных выше параметров можно представить

$$H_a = f(\sqrt{A}; p; E_{гр}). \quad (1)$$

Определение H_a для промежуточных, неуказанных на графике значений p и $E_{гр}$ довольно затруднительно, что неизбежно отражается на точности искомой величины. Точность определения можно существенно повысить, если зависимость (1) представить в аналитической форме.

Если для каждой линии семейства кривых выбрать в качестве базовой какую-либо площадь A_6 фундамента, а в качестве базовой соответствующую этой площади глубину H_{a6} зоны деформации, то зависимость относительной (по отношению к H_{a6}) глубины зоны деформации грунтового основания фундамента с площадью подошвы A_i от относительной (по отношению к A_6) его площади, т.е.

$$H_{ai}/H_{a6} = f(A_i/A_6) \quad (2)$$

будет инвариантной по отношению к p и $E_{гр}$, что является следствием инвариантности по отношению к тем же параметрам зависимости относительной осадки S_i/S_6 расположенного на однородном грунтовом массиве квадратного фундамента от его относительной площади. Действительно, так как осадка S фундамента в интегральном методе расчета определяется /1...3/ по формуле

$$S = 0,5 p H_a / E_{гр}, \quad (3)$$

то при постоянных p и $E_{гр}$ справедливо равенство

$$S_i/S_6 = H_{ai}/H_{a6} \quad (4)$$

Сравнивая формулы (2) и (4) приходим к выводу, что зависимость относительной глубины зоны деформации от относительной площади подошвы фундамента тождественна зависимости относительной осадки от относительной площади подошвы фундамента.

Была рассмотрена зависимость относительной осадки от относительной площади подошвы фундамента для различных моделей грунтового основания. Анализ результатов проведенного исследования показал, что качественно наиболее близко отражает экспериментальную зависимость решение О.А. Савинова /4,5/ для штампа, расположенного на упругом основании М.М. Филоненко-Бородича, представляющем собой неограниченную, упругую, характеризуемую коэффициентом C упругого сжатия плоскость, на которой наложена без трения однородная растянутая мембрана /6/. Указанная зависимость имеет вид

$$S_i/S_6 = (1 + 2\gamma_0 (b_6 + l_6)/\Delta \cdot A_6) / (1 + 2\gamma_0 (b_i + l_i)/\Delta A_i), \quad (5)$$

где l_6, l_i и b_6, b_i — соответственно длины и ширины подошвы базового и i -того фундамента;

γ_0 — некоторый переменный коэффициент, зависящий от размеров штампа, коэффициента упругого сжатия C и натяжения q мембраны;

Δ — коэффициент, принимаемый в расчетах практических обычно равным 1 м^{-1} .

На основании формул (4) и (5) можно записать для квадратного фундамента ($l = b$), выражение для зависимости относительной глубины зоны деформации от площадей базового и i -того фундаментов

$$H_{ai}/H_{аб} = \left(1 + 4K/\sqrt{A_б}\right) / \left(1 + 4K/\sqrt{A_i}\right), \quad (6)$$

где $K = \gamma_0/\Delta$.

Значения коэффициента K были определены при обработке данных экспериментального графика, приведенного в работе /1,3/ и составили 1,25 и 3,75 при стороне подошвы соответственно меньшей и большей базовой. В качестве базовых значений параметров были приняты:

$$A_б = 10 \text{ м}^2, p_б = 0,2 \text{ МПа}, E_{гр б} = 2,0 \text{ МПа} \text{ и } H_{аб} = 2,06 \text{ м}.$$

Зависимости относительной глубины зоны деформации, во-первых, от относительного давления и, во-вторых, от относительного модуля деформации являются в свою очередь инвариантными в первом случае по отношению к площади подошвы фундамента и модулю деформации и во втором – к площади подошвы и давлению под ней. Эти зависимости можно представить следующими выражениями;

$$H_{ai}/H_{аб} = (p_i/p_б)^\alpha. \quad (7)$$

где α равно 1.00 и 0.64 при значении относительного давления соответственно меньше и больше единицы, и

$$H_{ai}/H_{аб} = (E_{гр i}/E_{гр б})^\beta, \quad (8)$$

где β равно 0.38 и – 0.53 при значении относительного модуля деформации соответственно меньше и больше единицы.

С учетом изложенного выше аналитическую зависимость глубины зоны деформации под фундаментом с квадратной подошвой от рассматриваемых параметров можно представить в виде

$$H_{ai} = H_{аб} (p_i/p_б)^\alpha (E_{гр i}/E_{гр б})^\beta \cdot \left(1 + 4K/\sqrt{A_б}\right) / \left(1 + 4K/\sqrt{A_i}\right), \quad (9)$$

При определении осадки фундамента с прямоугольной площадью подошвы рекомендуется /1,3/ принимать ее равной осадке условного квадратного фундамента с площадью $5 b^2$, где b – ширина подошвы. Проведенные исследования позволили рекомендовать определение глубины зоны деформации под прямоугольным фундаментом на базе уравнения (5). При этом зависимость относительной глубины зоны деформации от размеров сторон и площади подошв базового и рассматриваемого фундаментов будет иметь вид

$$H_{ai}/H_{аб} = \left(1 + 2K(1 + \eta_б) / \sqrt{\eta_б A_б}\right) / \left(1 + 2K(1 + \eta_i) / \sqrt{\eta_i A_i}\right), \quad (10)$$

где $\eta_б$ и η_i – отношение длины и ширины подошвы соответственно базового и i -того фундаментов.

Проверка показала, что отклонения расчетных, определенных как по формуле (9), так и на базе уравнения (10) значений H_{ai} от экспериментальных не превышает $\pm 10\%$.

В случае многослойного грунтового основания определение глубины зоны деформации производится методом попыток по приведенным выше зависимостям с использованием осредненного в пределах глубины зоны деформации модуля $E_{гр\ ср}$, значения которого находят из выражения

$$E_{гр\ ср} = \frac{\sum_{i=1}^n z'_i h_i}{\sum_{i=1}^n (z'_i h_i / E_{гр\ i})}, \quad (11)$$

где h_i и $E_{гр\ i}$ — соответственно толщина (мощность) и модуль деформации i -того слоя грунта;

z'_i — расстояние от нижней границы зоны деформации до середины i -того слоя.

n — количество слоев.

Формула (11) выведена из условия равенства осадок, найденных с использованием $E_{гр\ i}$ и $E_{гр\ ср}$, и при принятой в интегральном методе треугольной эпюре распределения вертикальных напряжений с глубиной в пределах зоны деформации.

Литература.

1. Региональные нормы проектирования и строительства зданий и промышленных сооружений на лессовых просадочных грунтах в юго-западной части Причерноморья (проект) // Одесский инженерно-строительный институт — Одесса, 1965 — 224 с.
2. Тугаенко Ю.Ф. Исследование деформаций в основаниях опытных фундаментов в лессовых грунтах 1-го типа — В кн: Основания и фундаменты. Вып. 2 — М.: “Высшая школа”, 1967 — С. 39 — 49.
3. Голубков В.Н. и др. Новые фундаменты на стройках Одессы. — Одесса: “Маяк”, 1976 — 108 с.
4. Савинов О.А. Давление жесткого прямоугольного штампа на упругое основание // Тр. Научн.-исслед. сектора Ленинградского отделения треста глубинных работ, 1941. Вып. 2. С. 20 — 31.
5. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. — М.: Стройиздат, 1964. — 346 с.
6. Филоненко-Бородич М.М. Некоторые приближенные теории упругого основания // Ученые записки МГУ, 1940. Вып. 46. С. 1 — 18.