

УДК 624.131.542

Легенченко В.А., аспирант

Государственное ВУЗ "Национальный горный университет", г. Днепропетровск, Украина

Шаповал А.В. к.т.н., доц.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск, Украина

Петракова Н.А., к.т.н., доц.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка, Украина

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНИХ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ

Осадки оснований являются важным критерием при проектировании и эксплуатации зданий и сооружений.

На сегодняшний день на территории нашей страны для расчета осадок оснований наиболее широко используется метод послойного суммирования, рекомендованный ДБН [1] и метод линейно-деформируемого слоя конечной толщины, рекомендованный СНиП и ПиН АЭ [2, 3]. Однако, рассчитанные с использованием нормативных документов осадки фундаментов, существенно отличаются от их фактических значений.

Целью исследования является разработка методики определения средних осадок фундаментов (в том числе и большеразмерных), расположенных на полупространстве и слое конечной толщины, которая бы позволила приблизить расчетные значения осадки к фактическим.

Выполненные теоретические исследования условно можно разбить на несколько частей

При выполнении первой части исследований, преследовалась цель выявить, каким образом условия на границе из раздробленного и жесткого грунта влияют на осадки фундаментов. Рассматривался фундамент круглой формы (рис. 1) и сопоставлялись осадки для случая «проскальзывания» и «полного сцепления» на контакте грунтовых слоев.

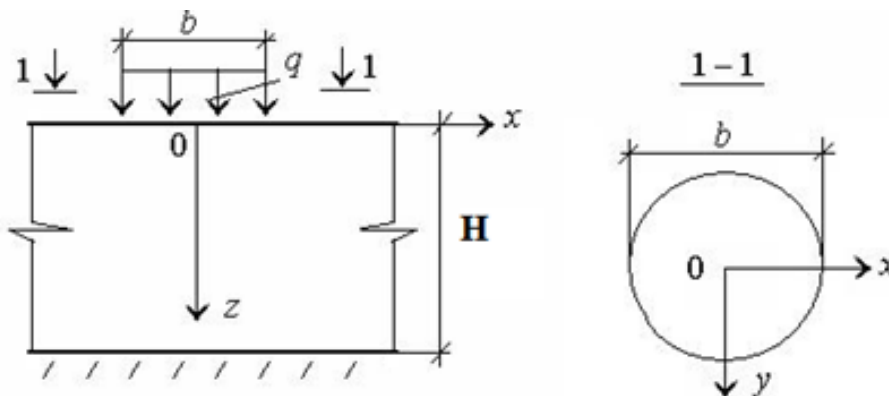


Рис. 1. К расчету осадок распределенной по кругу нагрузки

Если на контакте раздробленного грунта и подстилающего слоя отсутствует «проскальзывание», то граничные условия имеют вид (1-а), если же на контакте раздробленного грунта и подстилающего слоя имеет место «проскальзывание», то граничные условия имеют вид (1-б).

$$\left. \begin{array}{l} \text{а)} \quad \tau_{rz}(r,0) = 0; \\ \sigma_{zz}(r,0) = \begin{cases} -q \text{ при } r < b/2; \\ 0 \text{ при } r > b/2; \end{cases} \\ U(r,H) = 0; \\ W(r,H) = 0. \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} \text{б)} \quad \tau_{rz}(r,0) = 0; \\ \sigma_{zz}(r,0) = \begin{cases} -q \text{ при } r < b/2; \\ 0 \text{ при } r > b/2; \end{cases} \\ \tau_{rz}(r,H) = 0; \\ W(r,H) = 0. \end{array} \right\} \quad (1)$$

где: U и W – перемещения соответственно в направлении координатных осей Ox и Oz ; r и z – координаты; σ_{zz} , – нормальное напряжение; τ_{rz} – то же, касательное.

Эти данные сравнивались с осадкой грунта, находящегося в условиях компрессионного сжатия. В этом случае граничные условия на контакте никак не влияют на осадки.

Были использованы известные решения для распределенной нагрузки (2), для которых выполнялась нормировка по формулам (3) и определялись относительные осадки.

$$\left. \begin{array}{l} S_{1cp} = 2Hq \frac{(1-\nu)}{G} \int_0^\infty \frac{sh^2 \alpha}{2\alpha + sh 2\alpha} J_1^2 \left(\alpha \frac{b}{2H} \right) \frac{d\alpha}{\alpha^2} \\ S_{2cp} = 2Hq \frac{(1-\nu)}{G} \int_0^\infty \frac{(3-4\nu)sh 2\alpha - 2\alpha}{[(3-4\nu)ch 2\alpha + 2\alpha^2 + 5 - 12\nu + 8\nu^2]} J_1^2 \left(\alpha \frac{b}{2H} \right) \frac{d\alpha}{\alpha^2} \\ S_{3cp} = \frac{qH}{(\lambda + 2G)} \end{array} \right\} \quad (2)$$

где: sh – гиперболический синус; ch – гиперболический косинус; J_1 – функция Бесселя первого рода первого порядка; ν – коэффициент Пуассона; λ и G – константы Ламе основания; q – нагрузка на основание; H – толщина слоя; b – ширина фундамента; S_{1cp} – средняя осадка, соответствующая случаю проскальзывания слоя по слою; S_{2cp} – средняя осадка, соответствующая случаю полного сцепления на контакте грунтовых слоев; S_{3cp} – средняя осадка грунта, находящегося в условиях компрессионного сжатия.

$$\left. \begin{array}{l} \xi = \frac{2H}{b}; \quad S_1^* = \frac{S_{1cp}}{S_3}; \\ S_2^* = \frac{S_{2cp}}{S_3}; \quad S_3^* = \frac{S_3}{S_3} = 1. \end{array} \right\} \quad (3)$$

Для частного случая была построена зависимость относительных осадок от относительной толщины грунтового слоя при коэффициенте Пуассона основания, равном 0,45 (рис.2).

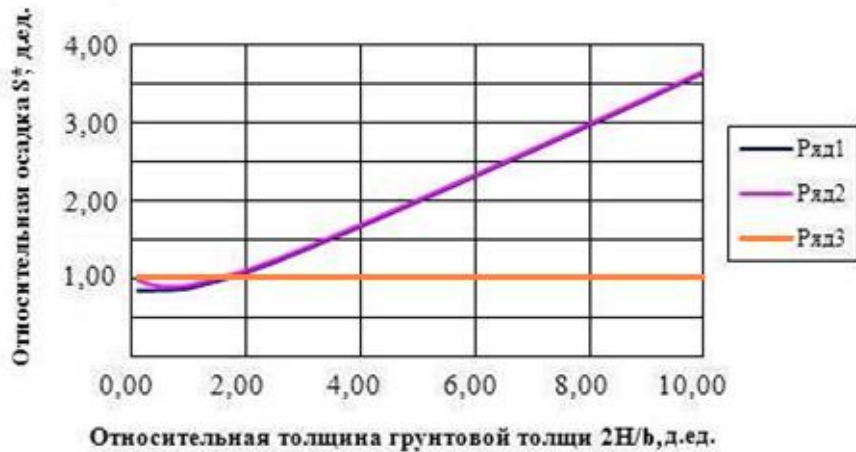


Рис. 2. Зависимость относительных осадок от относительной толщины грунтового слоя при коэффициенте Пуассона основания ν , равном 0,45. Ряд 1 соответствует относительной осадке S_1^* ; Ряд 2 – то же, S_2^* , а Ряд 3 – то же, S_3^* .

Проанализировав график, можно сделать вывод о том, что если имеет место проскальзывание на контакте грунтовых слоев, то осадки области ограниченных размеров могут быть больше, чем осадки при компрессии.

В целом, представленные материалы исследования свидетельствуют о том, что при расчете осадок фундаментов, расположенных на слое конечной толщины, обязательно надо учитывать контактные условия на границе грунтовых слоев из «жесткого» и раздробленного грунта.

Дальнейшие исследования были направлены на то, чтобы с использованием методики ДБН получить возможность учитывать влияние на осадки ограниченной толщи грунта.

Исследования выполнялись таким образом:

1. В начале определялись осадки круглого и квадратного фундаментов для расчетной схемы полупространства.
2. Затем определялись осадки для фундамента, расположенного на слое конечной толщины.
3. После чего определялось отношение осадок грунтового слоя к осадке полупространства для условий «проскальзывания» ($m_{k,1}$) и «полного сцепления» ($m_{k,2}$) на контакте грунтовых слоев.

Для определения соответствующей расчетной схемы полупространства средней осадки нами были использованы полученные Ю. К. Зарецким теоретические данные [4, 5].

$$S_{cp,\infty} = \frac{1-\nu}{G} \int_0^{\infty} J_1^2(\alpha) d\alpha. \quad (4)$$

Далее находились относительные средние осадки, как отношение осадок грунтового слоя к осадке полупространства m_k для круглого фундамента:

$$m_{k,1} = \frac{S_{1cp}}{S_{cp,\infty}} = \frac{2H}{b} \int_0^{\infty} \frac{sh^2\alpha}{2\alpha + sh2\alpha} \cdot J_1^2\left(\frac{\alpha \cdot b}{2H}\right) \frac{d\alpha}{\alpha^2} \left/ \int_0^{\infty} \frac{J_1^2(\alpha)}{\alpha^2} d\alpha \right.;$$

$$m_{k,2} = \frac{S_{2cp}}{S_{cp,\infty}} = \frac{2H}{b} \frac{\int_0^{\infty} \frac{(3-4\nu)sh2\alpha - 2\alpha}{\left[(3-4\nu)ch^2\alpha + 2\alpha + 2 \right] \left[+5 - 12\nu + 8\nu^2 \right]} \cdot J_1^2\left(\frac{\alpha \cdot b}{2H}\right) \frac{d\alpha}{\alpha^2}}{\int_0^{\infty} \frac{J_1^2(\alpha)}{\alpha^2} d\alpha}. \quad (5)$$

Результаты вычислений коэффициентов m_k для фундаментов с круглой формой подошвы на интервале изменения коэффициента Пуассона от 0,05 до 0,45 представлены на рис. 3.

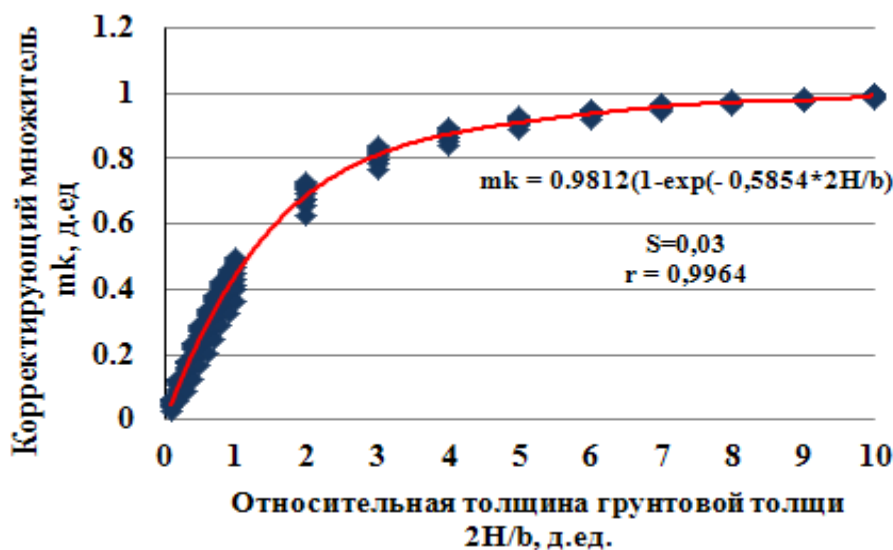


Рис. 3. Зависимость относительных осадок от относительной толщины грунтового слоя при коэффициенте Пуассона основания ν , равном 0,45. Ряд 1 соответствует относительной осадке S_1^* ; Ряд 2 – то же, S_2^* , Ряд 3 – то же, S_3^* .

Аналогичным образом были вычислены коэффициенты m_k для фундаментов с квадратной формой подошвы на интервале изменения коэффициента Пуассона от 0,05 до 0,45. Результаты вычислений представлены на рис. 4.

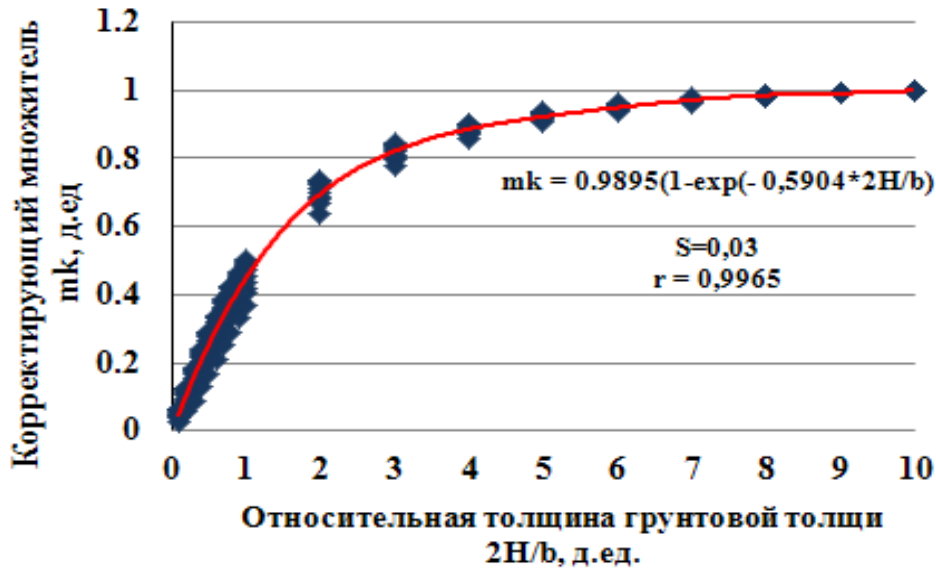


Рис. 4. Зависимость относительных осадок квадратного фундамента от относительной толщины грунтового слоя на интервале значений коэффициента Пуассона основания $\nu = 0,05 - 0,45$, «прилипания» и «проскальзывания» на контакте грунтовых слоев.

Далее было выполнено сопоставление фактических осадок и расчетных для фундаментов с площадью подошвы от 0,8 до 68 м. В этом случае использовались элементы π -теоремы и рассматривались безразмерные комплексы π_1 и π_2 , которые определялись по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= \frac{b}{b_0}; \\ \pi_2 &= \frac{\Delta S^H}{\Delta S^P}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где: b – ширина подошвы фундамента; $b_0 = 1$ м; ΔS^H – измеренные натурные осадки за период наблюдений, ΔS^P – разность осадок за период наблюдений, рассчитанная по методике ДБН.

Зависимость комплекса π_2 от комплекса π_1 представлена на рис. 5.

Полученные выводы по исследованию позволили разработать методику определения средних осадок фундаментов с шириной подошвы от 0,8 до 68 м, расположенных на грунтовом основании.

Ниже изложены основные положения методики определения средних осадок большеразмерных фундаментов с круглой и квадратной формой подошвы.

1. В качестве расчетной схемы основания следует принимать слой конечной толщины, который характеризуется толщиной H .

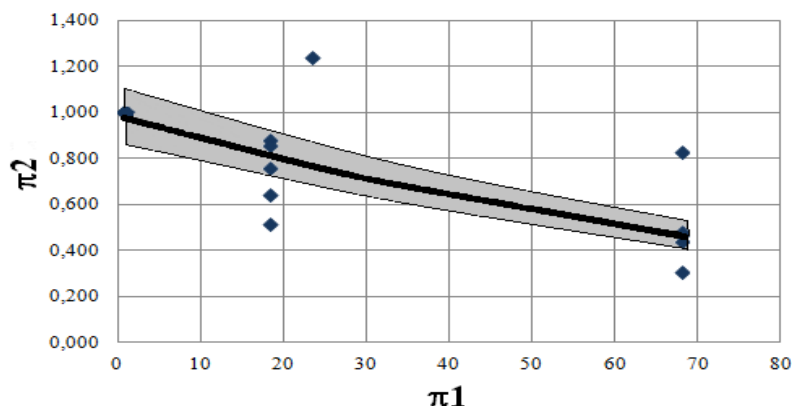


Рис.5. Зависимость безразмерного комплекса π_2 , от безразмерного комплекса π_1

Примечания. 1. Точки – исходные значения. 2. Сплошная линия – аппроксимация (среднее значение.) 3. Серым цветом обозначен диапазон изменения аппроксимирующей функции.

2. Деформационными характеристиками основания являются модули общей деформации E_i и коэффициенты Пуассона ν_i грунтовых слоев, где i – номер слоя.

2.1. Осредненные деформационные характеристики в пределах грунтовой толщи h следует определять по формулам:

$$\left. \begin{aligned} E_{cp} &= \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{h}; \\ \nu_{cp} &= \frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{h}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где: E_{cp} – среднее значение модуля общей деформации; ν_{cp} – то же, коэффициент Пуассона; i – номер грунтового слоя; n – количество грунтовых слоев.

3. Осадки фундаментов следует определять по формуле:

$$S = m_k \cdot m_b \cdot S_{ДБН} \quad (8)$$

где: S – расчетная осадка большего размера фундамента; $S_{ДБН}$ – то же, рассчитанная в соответствии с требованиями ДБН (пункты 8.1.16 и приложение «Д»); m_k и m_b – соответственно коэффициент условий работы и корректирующий множитель, которые следует принимать в зависимости от значения относительной толщины грунтового слоя $\xi = \frac{2 \cdot h}{b}$ и среднего (в

пределах слоя толщиной h) значения коэффициента Пуассона ν и ширины фундамента b .

3.1. При расчете осадок с использованием методики ДБН в качестве критерия, необходимого для определения нижней границы сжимаемой толщи следует принимать условие:

$$\sigma_{zq} = 5 \cdot \sigma_{zp}, \quad (9)$$

где: σ_{zq} – вертикальные напряжения от собственного веса грунта на глубине z ; σ_{zp} – то же, дополнительные [6, 7].

3.2. Толщину сжимаемой толщи h следует определять как расстояние от подошвы фундамента до нижней границы сжимаемой толщи (рис. 6-а). При этом глубину сжимаемой толщи H следует определять как расстояние от подошвы фундамента до нижней границы сжимаемой толщи (рис. 6-б).

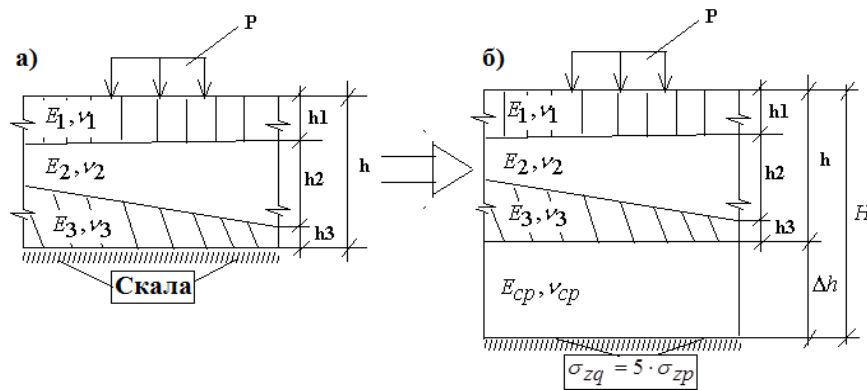


Рис. 6. Расчетные схемы основания. а) – фактическая; б) – фиктивная, где: $E_1, \nu_1, E_2, \nu_2, E_3, \nu_3$ – фактические деформационные характеристики основания; E_{cp}, ν_{cp} – то же, осредненные; h_1, h_2, h_3 – толщины грунтовых слоев; h – общая фактическая толщина грунтовых слоев; H – общая толщина сжимаемой толщи, которую следует определять из условия (4.44); $\Delta h = H - h$.

3.3. Коэффициент условий работы m_k следует определять по формуле:

для круглого фундамента –

$$m_k = \left. \begin{cases} 0,9812 \cdot \left[1 - \exp\left(-0,5854 \cdot \frac{2H}{b}\right) \right] \text{ при } \xi \leq 10 \text{ и } h \leq H; \\ 1 \text{ при } \xi > 10 \text{ и } h > H \end{cases} \right\} \quad (10)$$

$$\xi = \frac{2 \cdot H}{b}$$

для квадратного фундамента –

$$m_k = \left\{ \begin{array}{l} 0,9895 \cdot \left[1 - \exp\left(-0,5904 \cdot \frac{2H}{b}\right) \right] \text{ при } \xi \leq 10 \text{ и } h \leq H; \\ 1 \text{ при } \xi > 10 \text{ и } h > H \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$\xi = \frac{2 \cdot H}{b}$$

3.4. Корректирующий множитель m_b следует определять по формуле:

$$m_b = (0,9909 \pm 0,1) \cdot \exp\left[(-0,011 \pm 0,002) \cdot \frac{b}{b_0}\right]; \quad (12)$$

$$b_0 = 1.$$

5. Если толщина грунтового слоя h меньше глубины сжимаемой толщи H , вместо фактической расчетной схемы следует принимать фиктивную так, как это показано на рис. 6-б.

В ходе проверки разработанной методике на адекватность натурным данным сравнивались фактические и расчетные осадки фундаментов (рис.7).

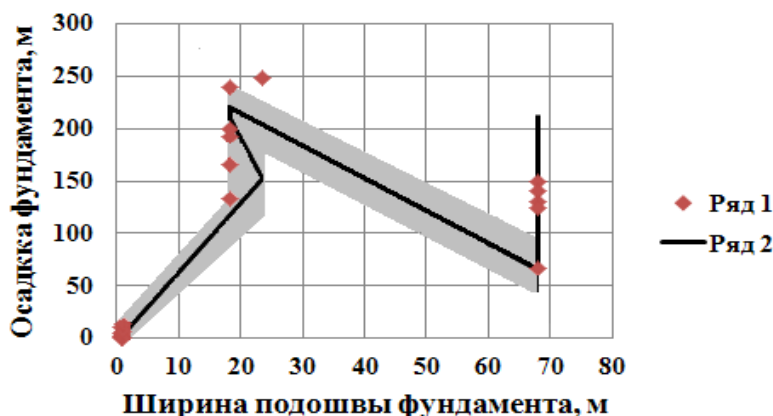


Рис. 7. Зависимость осадок фундаментов от ширины их подошвы.

1. Ряд 1 – натурные осадки;
2. Ряд 2 расчетные осадки (среднее значение);
3. серым цветом обозначен диапазон изменения расчетных осадок.

Анализ графики показал, что натурные осадки попали в доверительный интервал вероятности, а среднеквадратическое отклонение осадок, рассчитанное по предложенной методике значений отличаются не более чем на 20%. На этой основе был сделан вывод: разработанная методика определения осадок может найти широкое применение в инженерной практике.

Выводы. При расчете средних осадок фундаментов обязательно нужно учитывать фактическое строение грунтовой толщи и масштабный фактор.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основы та фундаменти споруд. Київ. Мінрегіонбуд України, 2009-104 с.
2. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений.
3. ПиНАЭ-5.10-87. Правила и нормы в атомной энергетике. Основания реакторных отделений атомных станций.
4. Зарецкий Ю.К. Нелинейная механика грунтов и перспективы ее развития // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1982. - №5. - С. 28-31.
5. Шаповал А.В., Шаповал В.Г. Теория взаимосвязанной фильтрационной консолидации: Монография.-Днепропетровск: Пороги, 2009-311 с.
6. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. (Основные компоненты грунта и их взаимодействие). - М.: Стройиздат, 1971. - 375 с.
7. Швець В.Б., Бойко І.П., Вінников Ю.Л., Зоценко М.Л., Петраков О.О., Шаповал В.Г., Біда С.В. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти. Підручник. - Днепропетровск: «Пороги», 2012.- 196 с.