

Расчет осадки однородного основания

Е.Г. Пахомова¹, О.И. Куценко¹ ✉, А.С. Морозова¹, А.Р. Тимохина¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: dko1988@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. В данной статье предлагается разработка новой методики определения осадки однородного основания фундамента на базе метода послойного суммирования, позволяющего сократить объем выполняемых вычислений.

Методы. Границу сжимаемой толщи можно определить графически из условия равенства дополнительных напряжений половине природных. Зная значение глубины сжимаемой толщи, можно определить суммарное значение коэффициентов, входящих в известную формулу по расчету осадки основания методом послойного суммирования. Определив значение указанного коэффициента в слое, расположенном непосредственно под подошвой фундамента, введем коэффициент K_α , отражающий долю осадки в рассматриваемом слое.

Результаты. Применение разработанного коэффициента K_α позволяет определить осадку основания, рассчитав деформации одного слоя грунта, расположенного непосредственно под подошвой фундамента, что значительно упрощает проектирование подземных конструкций. В качестве примера рассмотрен фундамент, среднее давление под подошвой которого составляет 1200 кПа, глубина заложения $d=2$ м, основание однородное с модулем деформации 20 МПа и удельным весом $\gamma=18$ кН/м³. Выполнен расчет осадки системы «здание-основание» методом послойного суммирования и разработанным, произведен критический анализ результатов. При расчёте осадки методом послойного суммирования по известным формулам, приведенным в СП 22.13330. 2016 «Основания зданий и сооружений», получено значение осадки равное 9 см. При расчете деформаций основания по предложенной методике графически определена граница сжимаемой толщи $H_c=5,7$ м. Значение коэффициента K_α составило 0,203, осадка – 9 см.

Закключение. Значения осадок, определенных согласно действующим нормативным документам и по разработанной методике, совпадают, что позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый метод обладает достаточной степенью достоверности и может существенно облегчить процесс определения деформаций основания зданий и сооружений.

Ключевые слова: основание; осадка; фундамент; сжимаемая толщина; метод послойного суммирования.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Расчет осадки однородного основания / Е.Г. Пахомова, О.И. Куценко, А.С. Морозова, А.Р. Тимохина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(6): 90-98. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-90-98>.

Поступила в редакцию 18.10.2019

Подписана в печать 20.11.2019

Опубликована 23.12.2019

© Пахомова Е.Г., Куценко О.И., Морозова А.С., Тимохина А.Р., 2019

Settlement Computation of Homogeneous Base

Ekaterina G. Pakhomova¹, Olga I. Kutsenko¹ ✉, Alina S. Morozova¹,
Alina R. Timokhina¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: dko1988@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. This article proposes the development of a new methodology for determining the settlement of a homogeneous foundation base on the basis of the layer-by-layer summation method, which reduces the amount of calculations performed.

Methods. The boundary of the compressible stratum can be determined graphically from the condition that the additional stresses are equal to half the natural stresses. Knowing the value of the depth of the compressible stratum, we can determine the total value of the coefficients included in the well-known formula for calculating the settlement of the base by the method of layer-by-layer summation. Having determined the value of the specified coefficient in the layer located directly below the base of the foundation, we introduce the coefficient $K\alpha$, which reflects the proportion of sediment in the layer under consideration.

Results. The application of the developed coefficient $K\alpha$ allows determining the base settlement by calculating the deformations of one soil layer located directly below the base of the foundation, which greatly simplifies the design of underground structures. As an example, we consider a foundation, the average pressure under the sole of which is 1200 kPa, the laying depth $d = 2$ m, the base is homogeneous with a deformation modulus of 20 MPa and a specific gravity of $\gamma = 18$ kN / m³. The settlement of the building-basement system was calculated by the method of layer-by-layer summation and the critical analysis of the results was performed. When calculating precipitation by the method of layer-by-layer summation according to the known formulas given in SP 22.13330. 2016 "Foundations of buildings and structures", it was obtained a draft value of 9 cm. When calculating the base deformations according to the proposed method, the boundary of the compressible thickness $H_c = 5.7$ m was graphically determined. The coefficient value was 0.203, and the draft was 9 cm.

Conclusion. The settlement values determined in accordance with current regulatory documents and the developed methodology are the same, which allows us to conclude that the proposed method has a sufficient degree of reliability and can significantly facilitate the process of determining the deformations of the base of buildings and structures.

Keywords: base; settlement; foundation; compressible stratum; method of layer-by-layer summation.

Conflict of Interest: The authors declare the absence of overt and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Pakhomova E. G., Kutsenko O.I., Morozova A.S., Timokhina A.R. Settlement Computation of Homogeneous Base. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(6): 90-98 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-90-98>.

Received 18.10.2019

Accepted 20.11.2019

Published 23.12.2019

Введение

Для обеспечения требования Федерального закона №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» необходимо предотвратить деформации недопустимой величины основания здания. Следовательно, проектирование фундаментов должно осуществляться с учетом предельных осадок оснований. В связи с этим вопросу прогноза осадок фундаментов на сжимаемых основаниях, определению их неравномерности и протекания во времени придается первостепенное значение [1, 2, 3-10].

На сегодняшний день существует большое число способов определения совместных деформаций системы «здание-основание». Они отличаются точностью, количеством учитываемых факторов, применяемыми расчетными схемами, допущениями при описании работы грунта¹ [3, 12-14].

В настоящее время осадка основания фундамента согласно СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» определяется методом послойного суммирования с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого полупространства по формуле

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i} h_i}{E_{e,i}}, (1)$$

где β – безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp,i}$ – среднее значение вертикального нормального напряжения (далее – вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента;

h_i – толщина i -го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 ширины фундамента;

E_i – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения;

$\sigma_{zy,i}$ – среднее значение вертикального напряжения в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта;

$E_{e,i}$ – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения;

n – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

Сущность метода послойного суммирования заключается в определении осадок элементарных слоев основания в пределах сжимаемой толщи от дополнительных вертикальных напряжений $\sigma_{zp,i}$, возникающих от нагрузок, передаваемых зданиями. Для нахождения средней осадки всего фундамента необходимо выделить ряд вертикальных призм, определить их осадку и найти среднюю арифметическую из найденных величин. Такой способ определения осадки оказывается чрезвычайно громоздким. Следовательно, необходима разработка нового упрощенного метода определения осадки однородного

¹ Ахлюстин О.Е. Закономерности изменчивости физико-механических свойств просадочных грунтов Анапского р-на Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. геол.-мин.наук. Екатеринбург, 2013.

основания фундамента на основе метода послойного суммирования, позволяющего сократить объем выполняемых вычислений.

Материалы и методы

Границу сжимаемой толщи можно определить графически из условия:

$$\sigma_{zp} = 0,5 \cdot \sigma_{zg}. \quad (2)$$

С учетом значения вертикальных σ_{zp} и природных σ_{zg} напряжений выражение (2) можно записать в виде

$$\alpha \cdot P = 0,5 \cdot \gamma \cdot (d + z), \quad (3)$$

где z – глубина от подошвы фундамента; d – глубина котлована. Решить уравнение (3) можно графически (рис. 1).

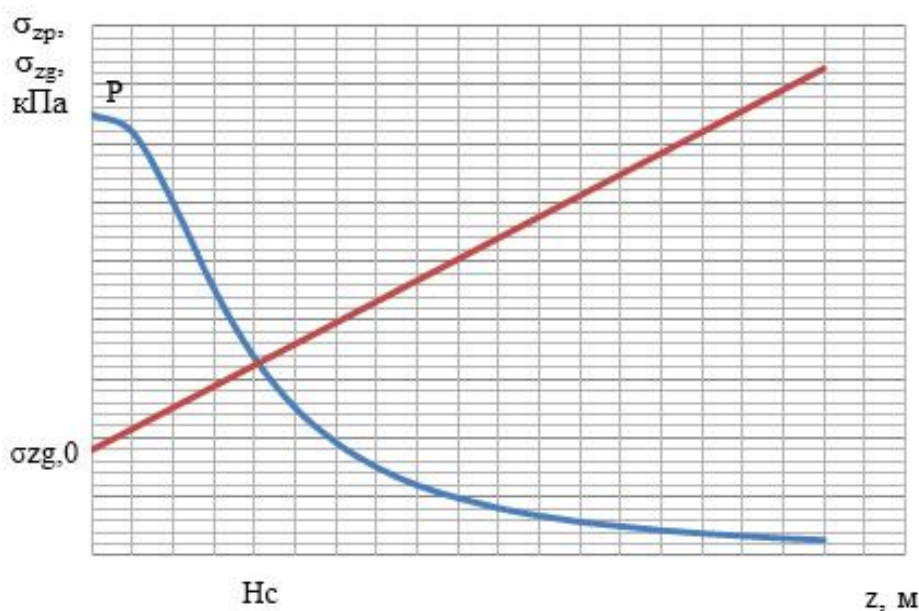


Рис. 1. График распределения вертикальных σ_{zp} и природных σ_{zg} напряжений по глубине z

Fig. 1. Distribution graph of vertical σ_{zp} and natural σ_{zg} tensions over depth z

Зная значение глубины сжимаемой толщи H_c , можно определить суммарное значение коэффициентов $\sum \alpha$, входящих в известную формулу по расчету осадки основания методом послойного суммирования (1). Определив значение указанного коэффициента α_1 в слое толщиной $h = 0,4 \cdot b$, расположенного непосредственно под подошвой фундамента, введем коэффициент K_α , отражающий долю осадки в рассматриваемом слое.

$$K_\alpha = \frac{\alpha_1}{\sum \alpha}, \quad (4)$$

где α_1 – значение коэффициента α для слоя грунта толщиной h , расположенного непосредственно под подошвой фундамента.

Результаты и их обсуждение

С учетом формулы (4) выражение для определения осадки основания (1) можно записать в виде

$$s = \beta \frac{0,4 \cdot b \alpha_1 (\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i})}{K_\alpha E}. \quad (5)$$

В качестве примера рассмотрим фундамент, среднее давление под подошвой которого составляет 1200 кПа, глубина заложения $d=2$ м, основание однородное с модулем деформации 20 МПа и удельным весом $\gamma=18\text{кН/м}^3$. Выполним расчет осадки системы «здание-основание» методом послойного суммирования и методом, представленным в настоящей статье, сравним полученные значения. При расчёте методом послойного суммирования по известным

формулам (1), приведенным в СП 22.13330. 2016 «Основания зданий и сооружений», получено значение осадки равное 9 см.

При расчете осадки основания упрощенным методом графически определяем границу сжимаемой толщи согласно условиям (2) и (3): По данным графика $H_c=5,7$ м (рис. 2.).

Значение коэффициента K_α составило 0,203, осадка – 9 см.

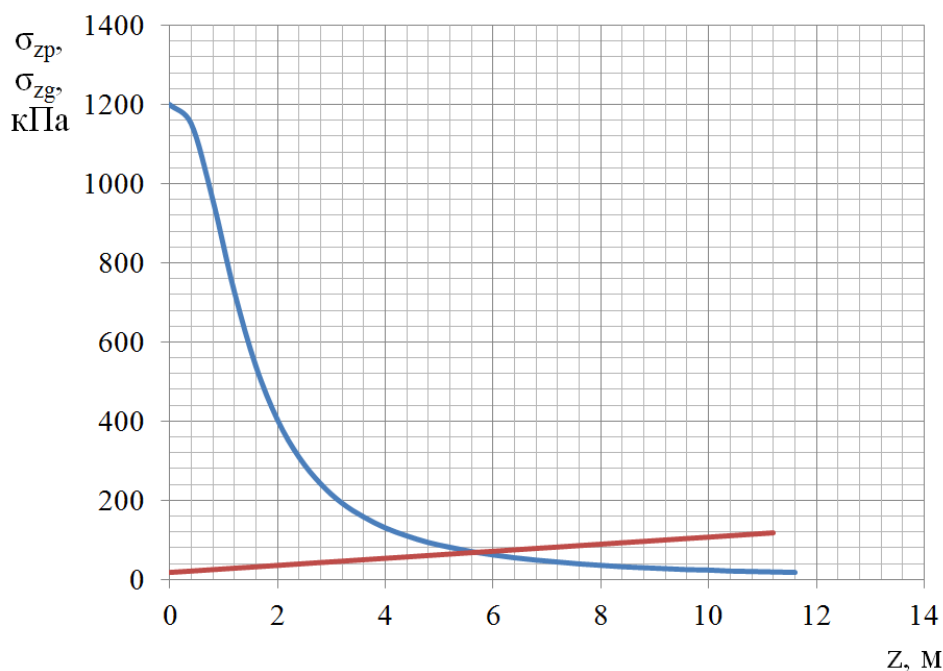


Рис. 2. Графическое определение границы сжимаемой толщи

Fig. 2. Graphic definition of the boundary of the compressible stratum

Выводы

Поскольку значения осадки, определенные согласно действующим нормативным документам и по разработанной методике, совпадают, можно сде-

лать вывод о том, что предлагаемый метод обладает достаточной степенью достоверности и может существенно облегчить процесс определения деформаций основания зданий и сооружений.

Список литературы

1. Nguyen M.D. [et al.] Behavior of nonwoven-geotextile-reinforced sand and mobilization of reinforcement strain under triaxial compression // *Geosynthetics*. 2013. № 20 (3). P. 207–225.
2. Phoon K.-K., Retief J.V. Reliability of geotechnical structures in ISO2394. – Matieland, South Africa, 2016. P. 249.
3. Барановский А.Г. Изменение физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов под влиянием техногенных факторов // *Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: сборник*. М., 2015. С.92-97.
4. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса: монография. Пенза: ПГУАС, 2014. 696 с.
5. Бочарова М.А. Предложения по усовершенствованию расчета осадок фундаментов, учитывающие анизотропные свойства грунтов // *Вестник научных конференций*. 2016. №9-3(13). 22-25 с.
6. Деминцева Е.А., Вайнштейн В.М. Анализ изменения физико-механических свойств грунтов при стабилизации их модификатором «Пенетрон» // *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*. Пермь, 2013. С.157-162.
7. Дмитриева К.О., Мыльченко А.Ю. Изменение расчётного сопротивления грунта основания эксплуатируемого здания // *Проектирование и строительство*. Курск, 2016. С.19-22.
8. Дмитриева К.О., Дубраков С.В. Механика грунтов. Курск, 2017. 112 с.
9. Дубракова К.О., Куценко О.И., Карцев И.Н. Изменение физико-механических характеристик грунта эксплуатируемого основания // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2019. Т.23. №3. С.54-64. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-54-64>.
10. Калугин П.И., Пятигор Д.А. Особенности работы грунтов оснований фундаментов после реконструкции зданий // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета* 2017. №1. С.60-64.
11. Расчётный анализ длительного деформирования системы «здание-основание здания» хранилища ядерных отходов АЭС / В.И. Колчунов, В.В. Потапов, К.О. Дмитриева, В.А. Ильин // *Строительство и реконструкция*. 2017. №4(72). С.27-33.
12. Оценка влияния возводимого многоэтажного здания на техническое состояние близлежащих строений / А.А. Краснов, А.Л. Четвериков, С.Г. Шейна, В.Г. Шумеев //

Проблемы строительства, инженерного обеспечения и экологии города: сборник материалов III Всероссийской научной конференции. Пенза: Приволжский дом знаний, 2001. С.3-5.

13. Ширяева М.П., Кривонос Е.А. Классификация моделей грунтового основания // Научные труды КУБГТУ: электронный сетевой политематический журнал. 2014. № 3. С. 18-25.

References

1. Nguyen M.D. [et al.] Behavior of nonwoven-geotextile-reinforced sand and mobilization of reinforcement strain under triaxial compression. *Geosynthetics*, 2013, no. 20 (3), pp. 207–225.

2. Phoon K.-K., Retief J.V. Reliability of geotechnical structures in ISO2394. Matieland, South Africa, 2016, 249 p.

3. Baranovsky A.G. Izmenenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv elyuvial'nykh glinistyykh gruntov pod vliyaniem tekhnogennykh faktorov [Changes in the physical and mechanical properties of eluvial clay soils under the influence of technogenic factors]. *Sbornik "Analiz, prognoz i upravlenie prirodnymi riskami v sovremennom mire"* [Collection "Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world"]. Moscow, 2015, pp. 92-97 (In Russ.).

4. Boldyrev G.G. *Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoystv gruntov. Sostoyanie voprosa* [Methods for determining the mechanical properties of soils. State of the issue]. Penza, PGUAS Publ., 2014, 696 p. (In Russ.).

5. Bocharova M.A. Predlozheniya po usovershenstvovaniyu rascheta osadok fundamentov, uchityvayushchie anizotropnye svoystva gruntov [Proposals for improving the calculation of sediment foundations, taking into account the anisotropic properties of soils]. *Vestnik nauchnykh konferentsii = Bulletin of scientific conferences*, 2016, no. 9-3(13), pp. 22-25 (In Russ.).

6. Demintseva E.A., Weinstein V.M. Analiz izmeneniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv gruntov pri stabilizatsii ikh modifikatorom «Penetron» [Analysis of changes in the physical and mechanical properties of soils during stabilization by the Penetron modifier]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and scientific research in the transport complex]. Perm, 2013, pp. 157-162 (In Russ.).

7. Dmitrieva K.O. Izmenenie raschetnogo soprotivleniya grunta osnovaniya ekspluatiruемого зданиya [Change in the calculated soil resistance of the base of the operated building]. *Proektirovanie i stroitel'stvo* [Design and construction]. Kursk, 2016, pp. 19-22 (In Russ.).

8. Dmitrieva K.O., Dubrakov S.V. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Kursk, 2017, 112 p. (In Russ.).

9. Dubrakova K.O., Kutsenko O.I., Kartsev I.N. Izmenenie fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik grunta ekspluatiruемого osnovaniya [Changes in the Physic-Mechanical Characteristics of the Soil of the Operated Foundation]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019; 23(3): pp. 54-64 (In Russ.). <https://doi.org/1021869/2223-1560-2019-23-3-54-64>.

10. Kalugin P.I., Pyatigor D.A. Osobennosti raboty gruntov osnovanii fundamentov posle rekonstruktsii zdaniy [Features of the work of soils of foundations after reconstruction of buildings]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*, 2017, no. 1, pp.60-64 (In Russ.).

11. Kolchunov V.I., Potapov V.V., Dmitrieva K.O., Ilyin V.A. Raschetnyi analiz dlitel'nogo deformirovaniya sistemy «zдание-osnovanie zdaniya» khranilishcha yadernykh otkhodov AES [Calculation analysis of long-term deformation of the building-to-building system of a nuclear waste storage facility]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Construction and reconstruction*, 2017, no.4 (72), pp.27-33 (In Russ.).

12. Krasnov A.A., Chetverikov A.L., Sheina S.G., Shumeev V.G. Otsenka vliyaniya vozvodimogo mnogoetazhnogo zdaniya na tekhnicheskoe sostoyanie blizlezhashchikh stroenii [Assessment of the influence of a multi-storey building being built on the technical condition of nearby buildings]. *Problemy stroitel'stva, inzhenernogo obespecheniya i ekologii goroda. Sbornik materialov III Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii*. [Problems of construction, engineering support and the city ecology. Collection of materials of the III All-Russian Scientific Conference]. Penza, 2001, pp.3-5 (In Russ.).

13. Shiryayeva M.P., Krivonos E.A. Klassifikatsiya modelei gruntovogo osnovaniya [Classification of soil foundation models]. *Elektronnyi setevoi politematicheskii zhurnal "Nauchnye trudy KUBGTU" = Electronic network political journal "Scientific works of KUBGTU"*, 2014, no. 3, pp. 18-25 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Пахомова Екатерина Геннадиевна, кандидат технических наук, доцент, декан факультета строительства и архитектуры, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dko1988@yandex.ru

Ekaterina G. Pakhomova, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Dean of the Faculty of Construction and Architecture, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dko1988@yandex.ru

Куценко Ольга Ивановна, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dko1988@yandex.ru

Olga I. Kutsenko, Associate Professor, Department of Industrial and Civil Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dko1988@yandex.ru

Морозова Алина Сергеевна, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dko1988@yandex.ru

Alina S. Morozova, Master Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dko1988@yandex.ru

Тимохина Алина Романовна, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dko1988@yandex.ru

Alina R. Timokhina, Master Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dko1988@yandex.ru