

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-54-64>

## **Изменение физико-механических характеристик грунта эксплуатируемого основания**

**К.О. Дубракова<sup>1</sup> ✉, О.И. Куценко<sup>1</sup>, И.Н. Карцев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> 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 рассматривается изменение физико-механических характеристик грунта основания в процессе эксплуатации объектов строительства и возможность учета указанных изменений при проектировании фундаментов мелкого заложения.

**Методы.** Исходя из предположения о том, что вес инженерно-геологических элементов основания остается постоянным независимо от уровня действующих дополнительных вертикальных напряжений, получено выражение для определения коэффициента  $k_\gamma$ , учитывающего изменение плотности и удельного веса грунта в процессе эксплуатации зданий и сооружений. При этом, исходя из допущения о том, что эпюра дополнительных вертикальных напряжений треугольная, определено уравнение для вычисления коэффициента  $k_c$ , позволяющего определить изменение сцепления грунта в процессе эксплуатации объектов строительства. С применением коэффициентов  $k_\gamma$  и  $k_c$  получено выражение для определения изменения расчетного сопротивления грунта основания в процессе эксплуатации объектов строительства.

**Результаты.** Учет коэффициента  $k_\gamma$  при ширине проектируемого фундамента более двух метров при отношении осадки основания к глубине сжимаемой толщи, равной 0,3, приводит к увеличению расчетного сопротивления эксплуатируемого основания на 5%; на 3 % и на 1% при  $S/H_c = 0,2$  и при  $S/H_c = 0,1$  соответственно. При этом зависимо от ширины проектируемого фундамента учет коэффициента  $k_c$  позволяет превысить  $R$  на 25%. Совместный учет рассматриваемых коэффициентов приводит к увеличению расчетного сопротивления грунта основания в среднем на 27%.

**Заключение.** Полученные коэффициенты, учитывающие изменения удельного веса и сцепления грунта в процессе эксплуатации основания, позволяют достаточно просто оценить рост расчетного сопротивления в процессе обжатия, что, в свою очередь, даёт возможность сэкономить в среднем 10% материала при проектировании фундаментов мелкого заложения.

---

**Ключевые слова:** основание; расчетное сопротивление; удельное сцепление; удельный вес.

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

---

© Дубракова К.О., Куценко О.И., Карцев И.Н., 2019

**Для цитирования:** Дубракова К.О., Куценко О.И., Карцев И.Н. Изменение физико-механических характеристик грунта эксплуатируемого основания // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(3): 54-64. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-54-64>.

Статья поступила в редакцию 12.03.2019

Статья подписана в печать 24.04.2019

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-54-64>

## Changes in the Physic-Mechanical Characteristics of the Soil of the Operated Foundation

Kseniya O. Dubrakova ✉<sup>1</sup>, Olga I. Kutsenko<sup>1</sup>, Ivan N. Kartsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University, 94, 50 Let Oktyabrya str., Kursk, 305040, Russian Federation

✉ e-mail: dko1988@yandex.ru

### Abstract

**Purpose of research.** Condition analysis of block of flats after full repairs.

**Methods.** Inspection of buildings and constructions is an important part of the construction industry allowing analyzing and revealing defects and damages of building constructions, both by visual and tool methods.

The comparative analysis of project documentation and research materials of last years allows revealing condition dynamics of constructions and of low-quality work of contract organizations at various production stages.

**Results.** The revealed discrepancies during the inspection of block of flats in Kursk city are described. The first one is requirements' neglect of the existing normative documentation to heat technical characteristics of walling. Violations of silicate brick walls' plastering technology are also revealed. The other negative factor is violation of fire safety regulations due to the poor quality of materials used in roof repair and decrease in wood quality in comparison with the design project. At the same time it is determined that strengthening offered by the results of the previous inspections was not applied during full repairs.

**Conclusion.** It is necessary to pay much attention to each house, its features and damages during full repair. At the same time project documentation has to be complied with modern norms and rules. Materials and order of works have to meet requirements of project documentation. When carrying out small repairs it is necessary to make work acceptance after each completed construction stage to reduce emergence risk.

**Keywords:** full repairs; inspection; energy efficiency; thermal technology; quality of performed works.

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

**For citation:** Dubrakova K.O., Kutsenko O.I., Kartsev I.N. 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): 54-64 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-54-64>.

Received 12.03.2019

Accepted 24.04.2019

\*\*\*

### Введение

Определение параметров фунда-  
ментов мелкого заложения выполняется

из условия не превышения средним  
давлением под подошвой расчетного  
сопротивления грунта основания [20]:

$$P_{cp} \leq R, \quad (1)$$

где  $R$  – расчётное сопротивление, которое определяется по формуле

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma_{II} + M_c \cdot c_2], \quad (2)$$

где  $\gamma_{II} = \frac{G}{H_c}$  – удельный вес грунтов, залегающих ниже подошвы фундамента, определяемый как отношение веса  $G$  к глубине сжимаемой толщи.

При этом во многих работах указано, что в процессе эксплуатации физико-механические характеристики грунта основания изменяются, что приводит к увеличению расчётного сопротивления в 1,1...1,3 раза [1-19, 21,22]. Цель работы – учесть данные изменения при проектировании основания и фундамента.

### Материалы и методы решения задачи

Известно, что система «здание-основание» претерпевает некоторые деформации, одна из которых осадка  $S$  указанного основания. Обозначим удельный вес грунтов, залегающих ниже подошвы фундамента эксплуатируемых зданий и сооружений  $\gamma_{II,э}$ , тогда

$$\gamma_{II,э} = \frac{G}{H_c - S}. \quad (3)$$

Для анализа изменения удельного веса грунта основания в процессе эксплуатации запишем отношение указанного удельного веса до  $\gamma_{II}$  и после эксплуатации  $\gamma_{II,э}$ .

$$\frac{\gamma_{II,э}}{\gamma_{II}} = \frac{G \cdot (H_c)}{(H_c - S) \cdot G} = \frac{H_c}{H_c - S} = \frac{1}{1 - \frac{S}{H_c}}. \quad (4)$$

Произведём анализ изменения расчётного сопротивления при различной ширине подошвы фундамента при ва-

рировании отношения  $\frac{S}{H_c}$ . Учитывая тот факт, что вес грунта сохраняется, изменение удельного веса можно учесть, введя коэффициент  $k_{\gamma}$ , равный

$$k_{\gamma} = \frac{1}{1 - \frac{S}{H_c}}. \quad (5)$$

В это же время в процессе эксплуатации здания и сооружения, в грунте происходит обжатие грунта и соответственно увеличение удельного сцепления. Допустим, что эпюра вертикальных напряжений треугольна.

Сопrotивляемость грунтов сдвигу до обжатия описывается известным выражением, предложенным Кулоном.

$$\tau_p = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (6)$$

Считая эпюру дополнительных вертикальных напряжений треугольной, изменение удельного сцепления грунта в процессе эксплуатации зданий и сооружений можно определить из выражения

$$C_{II,э} = C_{II} + \sigma_{\varepsilon} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (7)$$

Для удобства вычислений введём коэффициент  $k_c$ :

$$K_c = \frac{C_{II,э}}{C_{II}} = \frac{C_{II} + \left(\frac{P}{2}\right) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{C_{II}} = 1 + \frac{\left(\frac{P}{2}\right) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{C_{II}} = 1 + \frac{R \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2 \cdot C_{II}}. \quad (8)$$

Записав формулу (2) с учётом выражений (5) и (8), получим уравнение для определения изменения расчётного сопротивления грунта основания в процессе эксплуатации объектов строительства:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} \cdot k_{\gamma} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma_{II} + M_c \cdot c_{II} \cdot k_c]. \quad (9)$$

## Результаты и их обсуждение

Для анализа влияния коэффициента  $k_\gamma$  на значение расчётного сопротивления грунта рассмотрим некоторое основание, сложенное рыхлыми песками с углом внутреннего трения  $\varphi=20^\circ$ , удельным весом  $\gamma_{II}=18 \text{ кН/м}^3$ , расчётным сопротивлением  $R_0=150 \text{ кПа}$ . Определим расчётное сопротивление грунта основания до ( $R$ ) и после эксплуатации ( $R_s$ ) при различных отноше-

ниях осадки к глубине сжимаемой толщи  $\frac{S}{H_c}$  (рис. 1).

Для более глубокого анализа влияния коэффициента  $k_\gamma$  на значение расчётного сопротивления грунта на рисунке 2 приведен график зависимости отношения расчётного сопротивления эксплуатируемого основания к расчётному сопротивлению  $R$  от ширины подошвы фундамента для рассматриваемого основания.

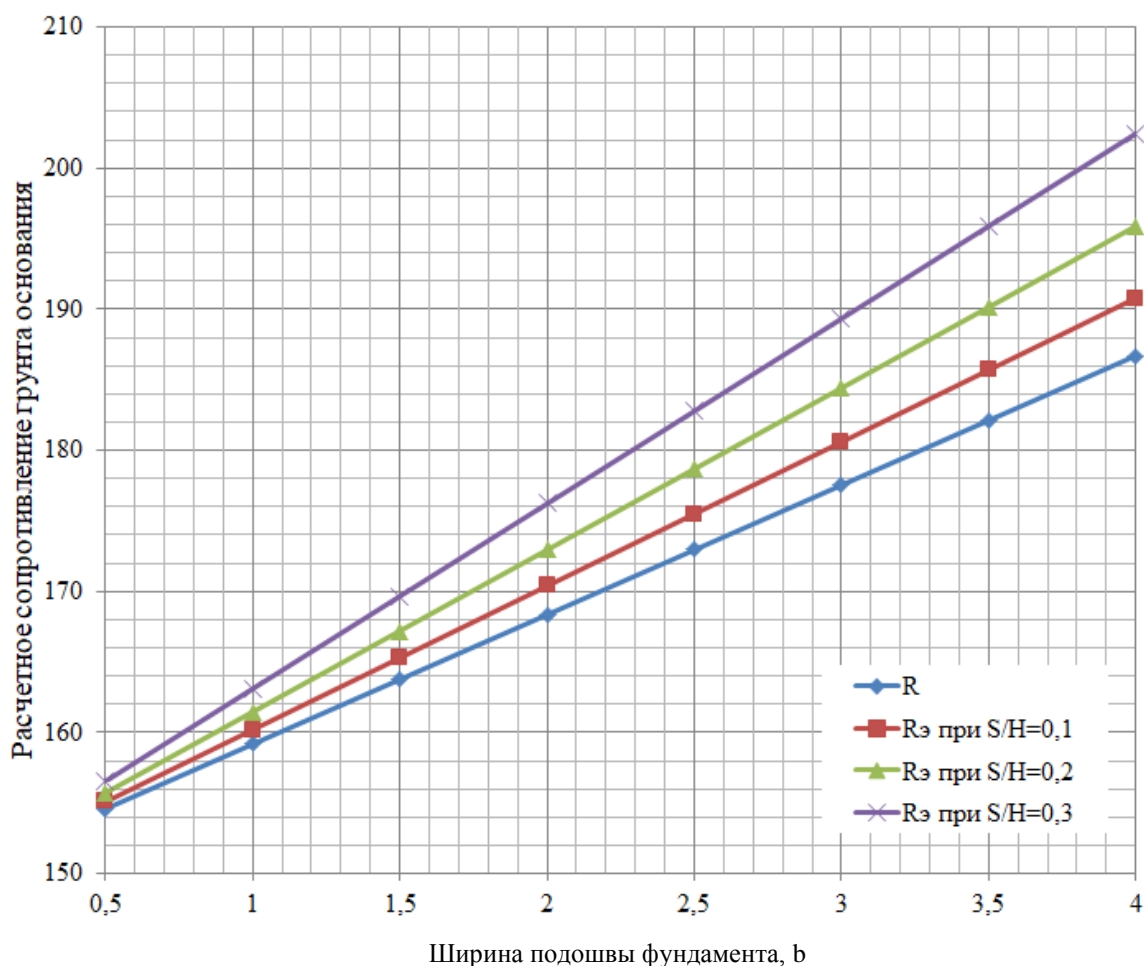


Рис. 1. Расчётное сопротивление грунта основания до ( $R$ ) и после эксплуатации ( $R_s$ ) при различных отношениях осадки к глубине сжимаемой толщи  $\frac{S}{H_c}$

Fig. 1. The design resistance of the soil base to ( $R$ ) and after operation ( $R_s$ ) for different ratios of precipitation to the depth of the compressible  $\frac{S}{H_c}$  sequence

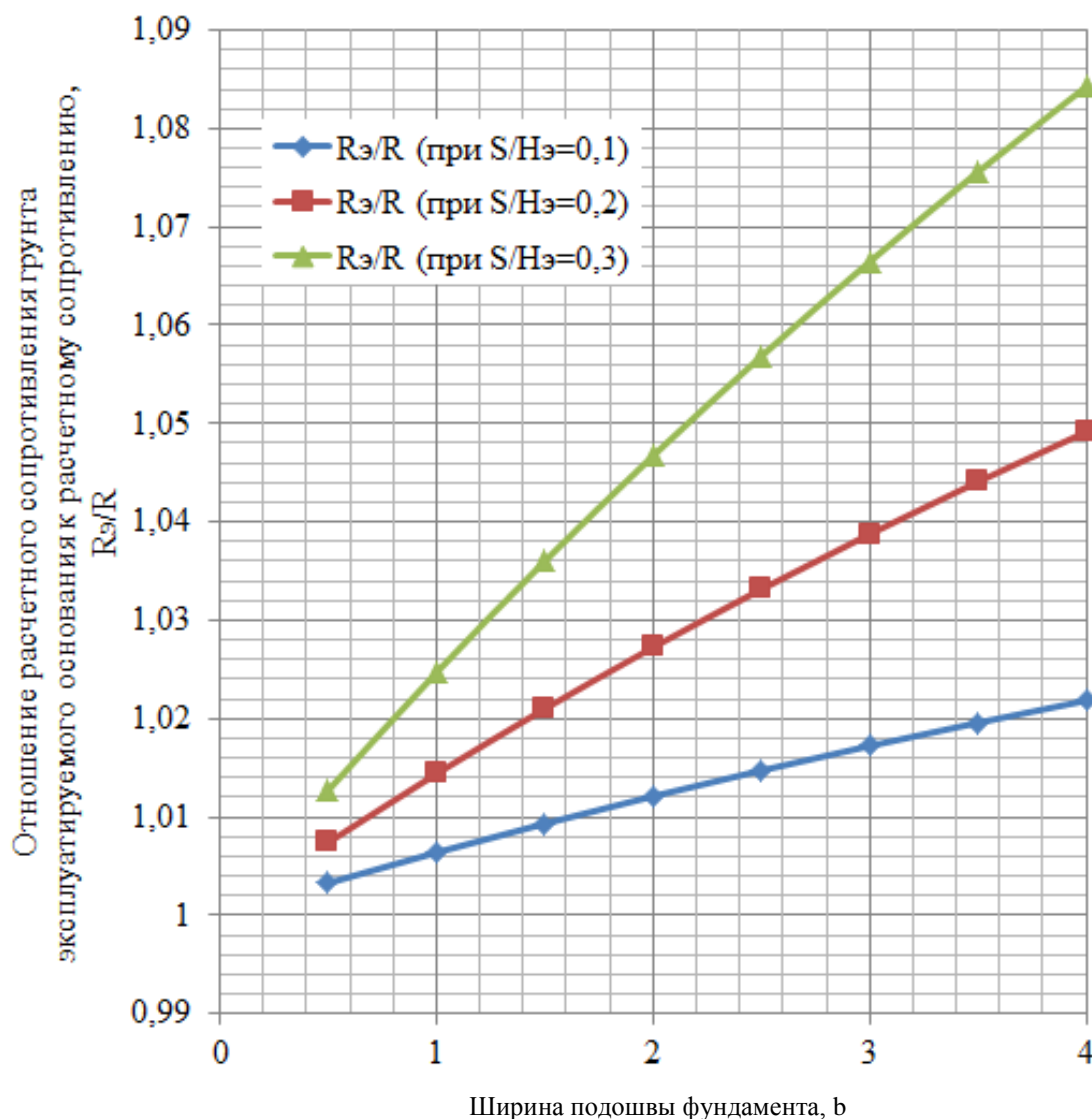


Рис. 2. Отношение расчетного сопротивления грунта основания после ( $R_{э}$ ) и до эксплуатации ( $R$ ) при различных отношениях осадки к глубине сжимаемой толщи  $\frac{S}{H_c}$

Fig. 2. The ratio of the calculated resistance of the soil base after ( $R_{э}$ ) and before operating ( $R$ ) at different ratios of precipitation to the depth of the compressible thickness  $\frac{S}{H_c}$

Из рисунков 1, 2 видно, что при ширине проектируемого фундамента более двух метров при отношении осадки основания к глубине сжимаемой толщи, равном 0,3, расчетное сопротивление эксплуатируемого основания превышает  $R$  на 5%; на 3 % и на 1% при

$S/H_c = 0,2$  и при  $S/H_c = 0,1$  соответственно.

Для анализа влияние коэффициента  $k_c$  на значение механических характеристик рассматриваемого основания определим расчетное сопротивление грунта основания до ( $R$ ) и после эксплуатации ( $R_{э}$ ).

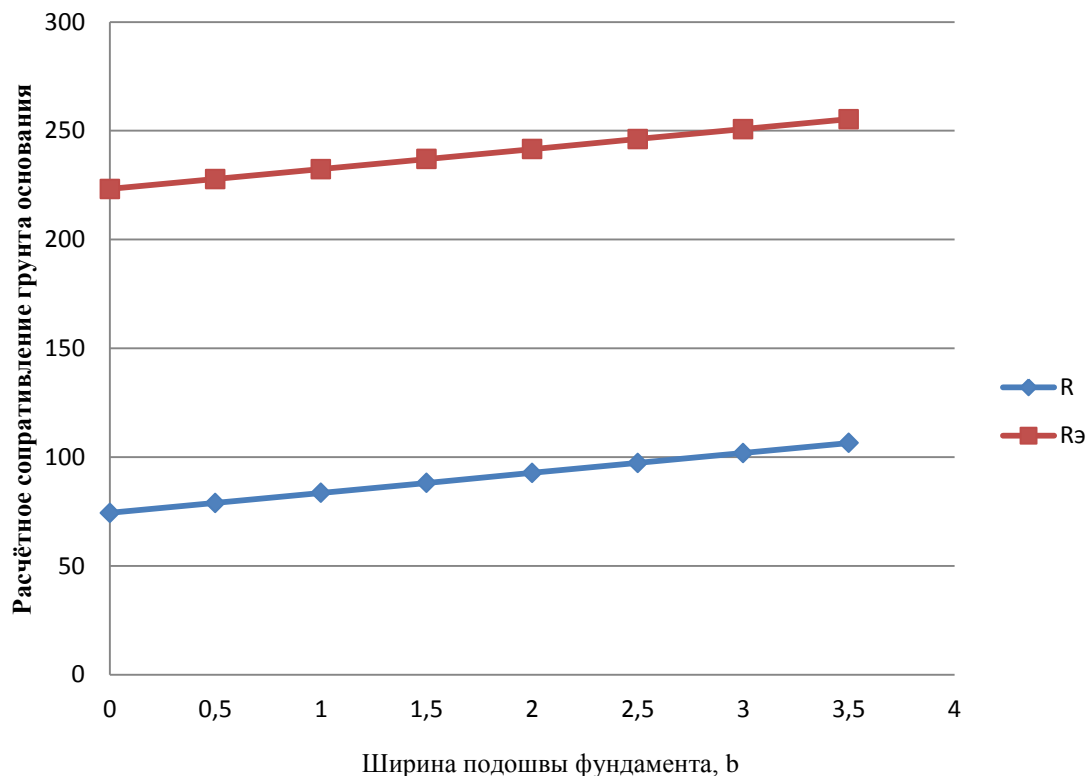


Рис. 3. Расчётное сопротивление грунта основания  $R$  и  $R_э$  при различных значениях удельного сцепления, до эксплуатации ( $c_{II}$ ) и после ( $c_{II,э}$ )

Fig. 3. The design resistance of the soil base  $R$  and  $R_э$  for different values of specific adhesion, before operating ( $c_{II}$ ) and after ( $c_{II,э}$ )

Из рисунка 3 видно, что не зависимо от ширины проектируемого фундамента, расчётное сопротивление эксплуатируемого основания превышает  $R$  на 25%.

Для анализа совместного влияния коэффициентов  $k_\gamma$  и  $k_c$  на значение расчётного сопротивления грунта рассматриваемого основания, определим расчётное сопротивление грунта основания до ( $R$ ) и после эксплуатации ( $R_э$ ) при различных отношениях осадки к глубине сжимаемой толщи  $\frac{s}{H_c}$ .

Из анализа рис. 4 видно, что совместный учет коэффициентов  $k_\gamma$  и  $k_c$  приводит к увеличению расчётного сопротивления грунта основания в среднем на 27%.

### Выводы

Полученные коэффициенты, учитывающие изменения удельного веса и сцепления грунта в процессе эксплуатации основания, позволяют достаточно просто определить расчётное сопротивление, что, в свою очередь, даёт возможность сэкономить в среднем 10% материала при проектировании фундаментов мелкого заложения.

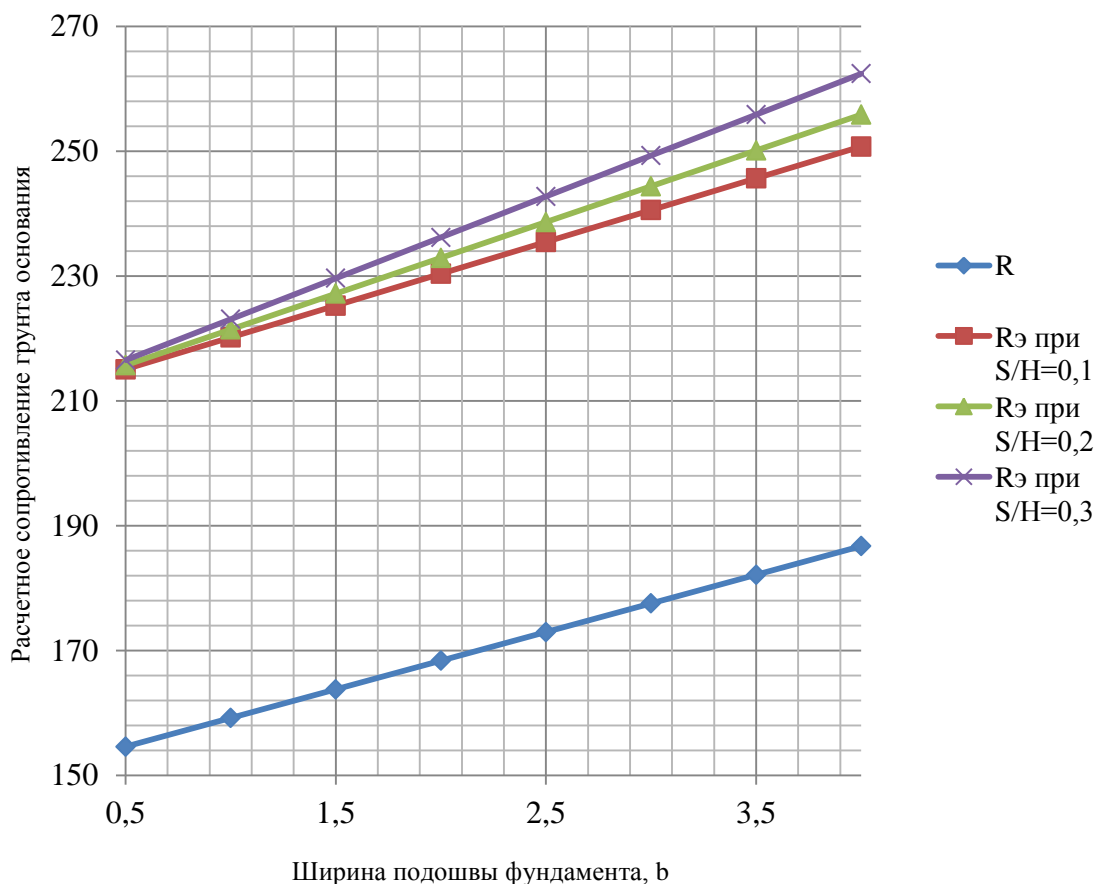


Рис. 4. Расчетное сопротивление грунта основания до ( $R$ ) и после эксплуатации ( $R_s$ ) при различных отношениях осадки к глубине сжимаемой толщи  $\frac{S}{H_c}$

Fig. 4. Estimated base soil resistance before ( $R$ ) and after operation ( $R_s$ ) for different ratios of precipitation to the depth of the compressible  $S / H_c$  sequence

### 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. Ахлюстин О.Е. Закономерности изменчивости физико-механических свойств просадочных грунтов Анапского р-на Краснодарского края: автореф. дис. ... к.геол.-мин.наук. Екатеринбург, 2013.
4. Барановский А.Г. Изменение физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов под влиянием техногенных факторов // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9 Междунар. науч.-практ. конф. М., 2015. С.92-97.

5. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. Пенза: ПГУАС, 2014. 696с.
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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Сопоставление результатов экспериментальных исследований механических свойств аргиллитов при выборе параметров, используемых в проектировании зданий и сооружений / М.А. Акбуляков, А.Б. Пономарев, Е.Н. Сычкина, А.Ю. Черепанов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2012. № 1. С. 7-17.
13. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Исследования механических свойств глинистых грунтов в условиях пространственного напряжённого состояния // Известия КГАСУ. 2010. №1(13). С.170-175.
14. Никифоров В.В., Селиверстов М.М., Березнев В.А. Инженерные решения реконструкции фундамента в условиях аномалий физико-механических свойств грунта // Молодёжная наука. Технологии, инновации: сб. трудов. Пермь, 2014. С.282-286.
15. Полищук А.И. Подход к оценке загрузки оснований фундаментов реконструируемых и восстанавливаемых зданий // Вестник ТГАСУ. 2000. №1. С.313-326.
16. Пономарёв А.Б. К вопросу об изменении физико-механических характеристик грунтов в процессе строительства и эксплуатации зданий // Строительство и транспорт. 2013. №2(14). С.104-109.
17. Простов С.М., Смирнов Н.А., Бахаева С.П. Прогноз физико-механических свойств намывного массива по данным электрических зондирований // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. №1. С.69-78.
18. Изменение расчётного сопротивления грунтов основания, работающего как нелинейная неупругая система / А.А. Сморгачев, С.А. Кереб, Д.А. Орлов, К.О. Барановская // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №2. С.54-56.



19. Расчёт деформаций основания с использованием нелинейной неупругой системы / А.А.Сморчков, С.А.Кереб, Д.А.Орлов, К.О.Барановская // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. №2. Ч.3. С.182-185.
20. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. М.: Институт ОАО «НИЦ «Строительство», 2016.
21. Торгов В.В., Цимбелман Н.Я. Изменение физико-механических свойств грунтов при сейсмическом воздействии // Вологодские чтения. 2014. №70. С.7-8.
22. Оценка взаимного влияния зданий и подземных сооружений / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин, В.А. Васенин // Георекострукция. 2012. №231.

### Reference

1. Nguyen M.D. [et al.] Behavior of nonwoven-geotextile-reinforced sand and mobilization of reinforced 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, p. 249.
3. Akhlyustin O.E. *Zakonomernosti izmenchivosti fiziko-mekhanicheskikh svoystv prosadochnykh gruntov Anapskogo r-na Krasnodarskogo kraya*. Author. diss. kand. geol.-min.n. [Patterns of variability of the physicommechanical properties of the subsiding soils of the Anapa district of the Krasnodar Territory. Kand. geol.-min. sci. avtoref. diss.]. Ekaterinburg, 2013 (In Russ.).
4. Baranovsky A.G. [Changes in the physical and mechanical properties of eluvial clay soils under the influence of man-made factors]. *Materialy 9 Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. "Analiz, prognoz i upravlenie prirodnyimi riskami v sovremennom mire"* [Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world. Collection]. Moscow, 2015, pp.92-97 (In Russ.).
5. Boldyrev G.G. *Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoystv gruntov. Sostoyanie vo-prosa* [Methods for determining the mechanical properties of soils. State of the question]. Penza, PGUAS Publ., 2014, 696 p. (In Russ.).
6. Demintseva E.A., Weinstein V.M. [Analysis of changes in the physical and mechanical properties of soils with their stabilization modifier "Penetron"]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and research in the transport complex]. Perm, 2013, pp.157-162 (In Russ.).
7. Dmitriev K.O., Mylchenko A.Yu. *Izmenenie raschetnogo soprotivleniya grunta osnovaniya ekspluatiruemogo zdaniya* [Change in the design resistance of the soil of the base of the building in use]. *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 (In Russ.).

9. Kalugin P.I., Pyatigor D.A. Osobennosti raboty gruntov osnovanii fundamentov posle rekonstruktsii zdaniy [Peculiarities of the operation of the foundation soil after the 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.).

10. 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 [Calculated analysis of the long-term deformation of the “building-foundation of the building” system of a nuclear waste storage facility of NPPs]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*=*Construction and reconstruction*, 2017, no.4 (72), pp.27-33 (In Russ.).

11. Krasnov A.A., Chetverikov A.L., Sheina S.G., Shumeev V.G. [Evaluation of the Impact of a High-Rise Building Being Built on the Technical Condition of the Nearby Buildings]. *Sbornik materialov III Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii "Problemy stroitel'stva, inzhenernogo obespecheniya i ekologii goroda"*. [Collection of materials of the III All-Russian Scientific Conference "Problems of Construction, Engineering Support and Ecology of the City"]. Penza, 2001, pp.3-5 (In Russ.).

12. Akbul'yakov M.A., Ponomarev A.B., Sychkina E.N., Cherepanov A.Yu. Sopotavlenie rezul'tatov eksperimental'nykh issledovaniy mekhanicheskikh svoystv argillitov pri vybore parametrov, ispol'zuemykh v proektirovanii zdaniy i sooruzhenii [Comparison of the results of experimental studies of the mechanical properties of mudstones when choosing the parameters used in the design of buildings and structures]. *Vestnik PNIPU.Urbanistika*=*PNIPU. Urbanistics Bulletin*, 2013, no. 1 (In Russ.).

13. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Issledovaniya mekhanicheskikh svoystv glinistykh gruntov v usloviyakh prostranstvennogo napryazhennogo sostoyaniya [Studies of the mechanical properties of clay soils under conditions of spatial stress state]. *Izvestiya KGASU*=*News of KGASU*, 2010, no. 1 (13), pp. 170-175 (In Russ.).

14. Nikiforov V.V., Seliverstov M.M., Bereznev V.A. Inzhenernye resheniya rekonstruktsii fundamenta v usloviyakh anomalii fiziko-mekhanicheskikh svoystv grunta [Engineering solutions for the reconstruction of the foundation in terms of anomalies of the physical and mechanical properties of the soil]. *Molodezhnaya nauka*=*Youth Science*, 2014, pp.282-286 (In Russ.).

15. Polishchuk A.I. Podkhod k otsenke zagruzheniya osnovanii fundamentov rekonstruiemykh i vosstanavlivaemykh zdaniy [Approach to the assessment of the loading of the foundations of the bases of the reconstructed and restored buildings]. *Vestnik TGASU*=*Herald of the TSUHU*, 2000, no. 1, pp.313-326 (In Russ.).

16. Ponomarev A.B. K voprosu ob izmenenii fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik gruntov v protsesse stroitel'stva i ekspluatatsii zdaniy [On the issue of changing the physical and mechanical characteristics of soils in the process of construction and operation of buildings]. *Stroitel'stvo i transport*=*Construction and transport*, 2013, no. 2(14), pp.104-109 (In Russ.).

17. Prostov S.M., Smirnov N.A., Bakhaeva S.P. Prognoz fiziko-mekhanicheskikh svoystv namyvnoy massiva po dannym elektricheskikh zondirovaniy [Forecast of the physi-

cal and mechanical properties of the alluvial massif according to the data of electrical soundings]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh=Physical and technical problems of the development of mineral resources*, 2015, no.1, pp. 69-78 (In Russ.).

18. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. Izmenenie raschetnogo soprotivleniya gruntov osnovaniya, rabotayushchego kak nelineinaya neuprugaya sistema [Change in the design resistance of soils of the foundation operating as a nonlinear inelastic system]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo=Industrial and civil construction*, 2014, no.2, pp.54 -56 (In Russ.).

19. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. Raschet deformatsii osnovaniya s ispol'zovaniem nelineinoy neuprugoy si-stemy [Calculation of base deformations using a nonlinear inelastic system]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no.2, pt.3, pp.182-185 (In Russ.).

20. SP 22.13330.2016. The foundations of buildings and structures. Moscow, Institute of JSC "SRC" Construction Publ., 2016 (In Russ.).

21. Torov V.V, Tsimbelman N.Ya. Izmenenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv grun-tov pri seismicheskom vozddeistvie [Changing the physicommechanical properties of soils under seismic effects]. *Vologdinskie chteniya=Vologda Readings*, 2014, no.70, pp.7-8 (In Russ.).

22. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G., Vasenin V.A. Otsenka vzaimnogo vliyaniya zdaniy i podzemnykh sooruzhenii [Evaluation of the mutual influence of buildings and underground structures]. *Georekonstruktsiya=Georeconstruction*, 2012, no. 231 (In Russ.).

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Дубракова Ксения Олеговна**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sirius080993@yandex.ru

**Ksenia O. Dubrakova**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Industrial and Civil Construction Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: sirius080993@yandex.ru

**Куценко Ольга Ивановна**, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sirius080993@yandex.ru

**Olga I. Kutsenko**, Associate Professor, Industrial and Civil Construction Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: sirius080993@yandex.ru

**Карцев Иван Николаевич**, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sirius080993@yandex.ru

**Ivan N. Kartsev**, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sirius080993@yandex.ru