

## Определение границы сжимаемой толщи при проведении инженерных изысканий

К.О. Дубракова<sup>1</sup> ✉, В.А. Солодилова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: dko1988@yandex.ru

### Резюме

**Цель исследования.** Ошибки и неточности при составлении отчетных материалов, по результатам инженерных изысканий, являющихся неотъемлемой и важной частью проектно-сметной документации, могут привести к необратимым последствиям и значительно сократить срок эксплуатации зданий и сооружений. Основной сложностью при исследовании физико-механических свойств грунта строительной площадки является определение глубины выработки. Это связано с тем, что увеличение расчетной глубины приводит к повышению стоимости работ, а ее снижение – к риску возникновения неточностей и ошибок при проектировании фундаментов зданий и сооружений. В соответствии с действующими нормативными документами выработка при проведении инженерно-геологических изысканий должна быть на 1-2 метра ниже границы сжимаемой толщи. Приведено условие, на основании которого определяется указанная граница. Разработка методики, позволяющей определять глубину сжимаемой толщи на этапе проведения инженерных изысканий с достаточной точностью, представляет практически важную задачу.

**Методы.** Определив природное напряжение  $\sigma_{zg,0}$  как произведение глубины заложения фундамента  $d$  на удельный вес грунта, залегающего выше подошвы  $\gamma'_{II}$ , учитывая, что среднее давление стремится к значению расчетного сопротивления грунта, показано, что основное влияние на параметры сжимаемой толщи, а соответственно и на значение глубины выработки, оказывает физико-механическое строение грунта основания. При этом напряжения, передаваемые фундаментом здания или сооружения, оказывают косвенное воздействие.

**Результаты.** Определены максимальные значения глубины выработки при производстве инженерно-геологических изысканий для песка плотного крупного, средней плотности и крупности и мелкого и супеси.

**Заключение.** Сделан вывод о том, что приведенная методика позволяет определять глубину выработки при проведении инженерно-геологических изысканий с достаточной точностью.

**Ключевые слова:** инженерные изыскания; сжимаемая толщина; глубина выработки; инженерно-геологическое строение.

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

**Для цитирования:** Дубракова К.О., Солодилова В.А. Определение границы сжимаемой толщи при проведении инженерных изысканий // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(3): 79-87. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-3-79-87>.

Поступила в редакцию 17.03.2020

Подписана в печать 04.05.2020

Опубликована 30.06.2020

## Determination of the Boundaries of the Compressible Strata When Conducting Engineering Surveys

Kseniya O. Dubrakova <sup>1</sup> ✉, Victoria A. Solodilova <sup>1</sup>

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

✉ e-mail: dko1988@yandex.ru

### Abstract

**Purpose of research.** Errors and inaccuracies in the preparation of deliverables based on the results of engineering surveys which are an integral and important part of the design and estimate documentation, can lead to irreversible consequences and significantly reduce the life of buildings and structures. The main difficulty in investigating soil physical and mechanical properties at a construction site is to determine the depth of excavation. This is due to the fact that an increase in the calculated depth leads to the increase in the cost of work, and its decrease leads to the risk of inaccuracies and errors in the design of foundations of buildings and structures. In accordance with the current regulatory documents, the excavation depth during soil investigation should be 1-2 meters below the boundary of the compressible strata. The condition on the basis of which the specified boundary is determined is provided. The development of a technique that allows determining the depth of the compressible strata at the stage of engineering surveying with adequate accuracy is an important task from a practical standpoint.

**Methods.** Determining natural stress  $\sigma_{zg,0}$  as the product of foundation depth  $d$  and the specific gravity of the soil above the base  $\gamma'_{II}$ , taking into account the fact that the average pressure tends to the value of the estimated resistance of the soil, it is shown that physical-mechanical structure of the base soil exerts the main influence on the parameters of the compressible strata, and correspondingly, to the excavation depth value. In this case, the stresses transferred by the foundation of a building or structure have an indirect effect.

**Results.** The maximum values of the depth of excavation for engineering and geological surveying for tight coarse sand, medium density and fineness sand, and fine sand and sandy loam are determined.

**Conclusion.** It is concluded that the given technique allows determining the depth of excavation during engineering and geological surveying with an adequate accuracy.

**Keywords:** engineering surveying; compressible strata; excavation depth; engineering and geological structure.

**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., Solodilova V. A. Determination of the Boundaries of the Compressible Strata When Conducting Engineering Surveys // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* = *Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(3): 79-87 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-3-79-87>.

Received 17.03.2020

Accepted 04.05.2020

Published 30.06.2020

\*\*\*

## Введение

Материалы, содержащие результаты инженерных изысканий, являются неотъемлемой и важной частью проектно-сметной документации. Ошибки и неточности, допущенные при лабораторном исследовании, могут привести к необратимым последствиям, значительно сократив срок эксплуатации зданий и сооружений<sup>1</sup> [1-19]. Инженерные изыскания подразумевают собой исследование физико-механических свойств грунта строительной площадки. В ходе анализа полученных данных перед инженерами появляется сложный вопрос об определении глубины выработки. Это связано с тем, что увеличение указанной глубины приводит к повышению стоимости работ, а ее снижение – к риску возникновения неточностей и ошибок при проектировании фундаментов зданий и сооружений.

В соответствии с действующими нормативными документами глубина выработки при проведении инженерно-геологических изысканий должна быть на 1-2 метра ниже границы сжимаемой толщи. С учетом требований СП 22.13330.2016 определить указанную глубину можно из равенства вертикального напряжения и половины природного:

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

$$\alpha \cdot p = 0,5 \cdot (\sigma_{zg,0} + z \cdot \gamma_{II}), \quad (1)$$

где  $p$  – среднее давление под подошвой фундамента;  $\sigma_{zg,0}$  – природное напряжение на уровне дна котлована;  $\gamma_{II}$  – осредненное значение удельного веса грунта, залегающего ниже подошвы фундамента.

Основная сложность при определении границы сжимаемой толщи состоит в том, что в большинстве случаев данные о физико-механических характеристиках грунтов строительной площадки известны приблизительно или не известны совсем. При этом расчет глубины выработки сводится к определению осредненных данных, представленных в таблицах действующих нормативных документов.

Следовательно, разработка методики, позволяющей определять глубину сжимаемой толщи на этапе проведения инженерных изысканий с достаточной точностью, представляет практически важную задачу.

## Материалы и методы

Определив природное напряжение  $\sigma_{zg,0}$  как произведение глубины заложения фундамента  $d$  на удельный вес грунта, залегающего выше подошвы  $\gamma'_{II}$ , считая на этапе предварительного расчета  $\gamma'_{II} = \gamma_{II}$ , представим выражение (1) в виде

$$\frac{\alpha \cdot p}{\gamma_{II}} = 0,5 \cdot (d + z). \quad (2)$$

Учитывая, что для фундамента, запроектированного с минимальным требуемым запасом несущей способности

по второй группе предельных состояний, среднее давление под подошвой стремится к значению расчетного сопротивления грунта основания, выражение (2) можно представить в следующем виде:

$$\frac{\alpha \cdot R}{\gamma_{II}} = 0,5 \cdot (d+z). \quad (3)$$

При определении глубины выработки на этапе проведения инженерно-геологических изысканий глубина фундамента  $d$  определяется из конструктивных особенностей зданий и соору-

жений и сезонного промерзания грунта. Отношение расчетного сопротивления грунта к удельному весу – специфический показатель для каждого строительного участка.

### Результаты и их обсуждение

В связи с тем, что коэффициент  $\alpha$  имеет сложную математическую зависимость от глубины  $z$ , отсчитываемой от уровня подошвы фундамента, уравнение (3) удобно решать графически (рис. 1).

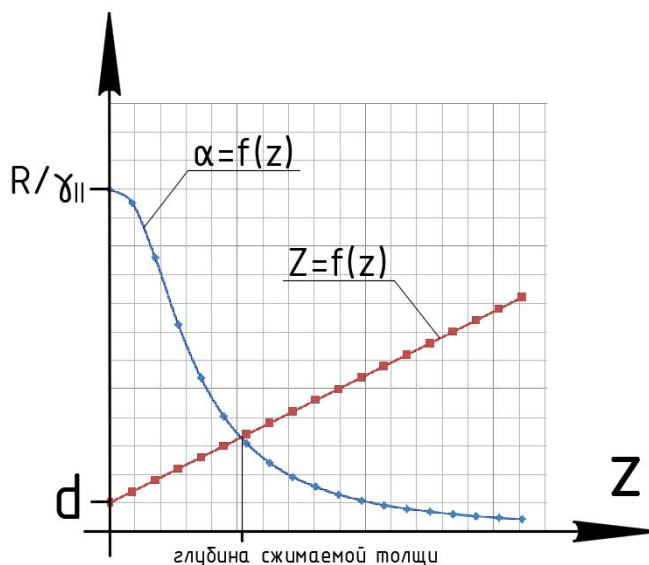


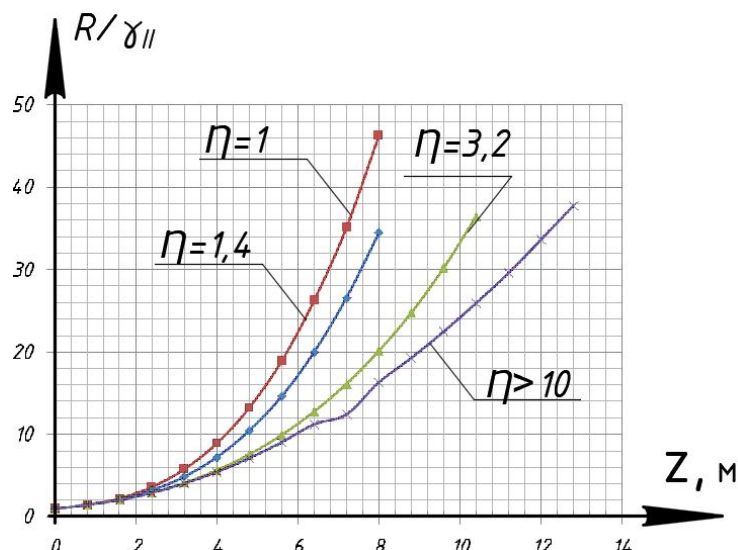
Рис. 1. К определению глубины сжимаемой толщи

Fig. 1. To the determination of the depth of the compressible strata

Из равенства (3) видно, что максимальное значение глубины выработки, необходимой при выполнении инженерно-геологических изысканий, прямо пропорционально отношению расчетного сопротивления грунта к удельному весу. При этом указанная глубина не зависит от передаваемой на основание нагрузки.

$$\frac{R}{\gamma_{II}} = \frac{0,5 \cdot (d+z)}{\alpha}. \quad (4)$$

Для решения уравнения (4) построим график зависимости отношения расчетного сопротивления грунта к удельному весу от глубины  $z$ :  $\frac{R}{\gamma_{II}} = f(z)$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость отношения расчетного сопротивления грунта к удельному весу от глубины

**Fig. 2.** Dependence of the ratio of the calculated soil resistance to the specific gravity on the depth

С учетом действующих нормативных документов отношение  $\frac{R}{\gamma_{II}}$  для песка плотного крупного составляет 37, для песка средней плотности и крупности – 25; для мелкого – 17,65; для супеси – 8,82.

Следовательно, максимальное значение глубины выработки при производстве инженерно-геологических изысканий составляет: для песка плотного крупного (14,5 м+d), для песка средней плотности и крупности – (14,1 м+d); для мелкого – (10,2 м+d); для супеси – (7,65 м+d).

### Выводы

Приведённая методика позволяет определять глубину выработки при проведении инженерно-геологических изысканий с достаточной точностью. Основное влияние на параметры сжимаемой толщи, а соответственно и на значение указанной глубины, оказывает физико-механическое строение грунта основания. Напряжения, передаваемые фундаментом здания или сооружения, оказывают косвенное воздействие.

### 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: матер. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. М., 2015 г. С.92-97.
4. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. Пенза: ПГУАС, 2014. 696 с.
5. Деминцева Е.А., Вайнштейн В.М. Анализ изменения физико-механических свойств грунтов при стабилизации их модификатором «Пенетрон» // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т.3. С.157-162.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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. Урбанистика. 2013. №1.
10. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Исследования механических свойств глинистых грунтов в условиях пространственного напряжённого состояния // Известия КГАСУ. 2010. №1(13). С.170-175.
11. Никифоров В.В., Селиверстов М.М., Березнев В.А. Инженерные решения реконструкции фундамента в условиях аномалий физико-механических свойств грунта // Молодёжная наука: технологии, инновации: матер. конф. Пермь, 2014. С.282-286.
12. Полищук А.И. Подход к оценке загрузки оснований фундаментов реконструируемых и восстанавливаемых зданий // Вестник ТГАСУ. 2000. №1. С.313-326.
13. 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.
14. 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.

15. Изменение расчётного сопротивления грунтов основания, работающего как нелинейная неупругая система / А.А. Сморчков, С.А. Кереб, Д.А. Орлов, К.О. Барановская // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №2. С.54-56.
16. 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.
17. Изменение расчетного сопротивления грунтов основания, работающего как нелинейная неупругая система / А.А. Сморчков, С.А. Кереб, Д.А. Орлов, К.О. Барановская // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №2. С.54-56.
18. Торов В.В., Цимбельман Н.Я. Изменение физико-механических свойств грунтов при сейсмическом воздействии // Вологодские чтения. 2014. №70. С.7-8.
19. Оценка взаимного влияния зданий и подземных сооружений / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин, В.А. Васенин // Георекострукция. 2012. №231.

### 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. [Changes in the physico-mechanical properties of eluvial clay soils under the influence of technogenic factors]. *Analiz, prognoz i upravlenie prirodnymi riskami v sovremennom mire*. Sbornik [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 vo-prosa* [Methods for determining the mechanical properties of soils.State of the issue monograph]. Penza, PGUAS Publ., 2014. 696 p. (In Russ.).
5. Demintseva EA, 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*, 2013, vol. 3, pp. 157-162 (In Russ.).
6. Kalugin P.I., Pyatigor D.A. Osobennosti raboty gruntov osnovanii fundamen-tov 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.).

7. 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.).

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

9. Akbul'yakov M.A., Ponomarev A.B., Sychkina E.N., Cherepanov A.Yu. Sopostavlenie 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 parameters used in the design of buildings and structures]. *Vestnik PNIPU. Urbanistika = Bulletin of PNIPU. Urban Studies*, 2013, no.1 (In Russ.).

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

11. Nikiforov V.V., Seliverstov M.M., Bereznev V.A. [Engineering solutions for the reconstruction of the foundation in the conditions of anomalies in the physical and mechanical properties of the soil]. *Molodezhnaya nauka: tekhnologii, innovatsii* [Youth Science: Technologies, Innovations]. Perm, 2014, pp. 282-286 (In Russ.).

12. Polishchuk A.I. Podkhod k otsenke zagruzheniya osnovanii fundamentov rekonstruiemykh i vosstanavliyaemykh zdaniy [An approach to assessing the load on the foundations of the foundations of reconstructed and restored buildings]. *Vestnik TGASU = Bulletin of TGASU*, 2000, no. 1, pp.313-326 (In Russ.).

13. 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 during the construction and operation of buildings]. *Stroitel'stvo i transport = Construction and Transport*, 2013, no. 2 (14), pp.104-109 (In Russ.).

14. Prostov S.M., Smirnov N.A., Bakhaeva S.P. Prognoz fiziko-mekhanicheskikh svoystv namynogo massiva po dannym elektricheskikh zondirovaniy [Forecast of the physico-mechanical properties of the alluvial massif according to electrical sounding data]. *Fiziko-*



*tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Physicotechnical Problems of Mining*, 2015, no.1, pp.69-78 (In Russ.).

15. 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 the soil of the base, working as a nonlinear inelastic system]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*, 2014, no. 2, pp. 54 -56 (In Russ.).

16. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. Raschet deformatsii osnovaniya s ispol'zovaniem nelineinoi neuprugoi sistemy [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.).

17. 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 calculated resistance of the ground base operating as a nonlinear inelastic system]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Construction*, 2014, no.2, pp.54-56 (In Russ.).

18. Torov V.V., Tsymbelman N.Ya. Izmenenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv gruntov pri seismicheskom vozdeystviye [Change of physical and mechanical properties of soils under seismic impact]. *Vologdinskie chteniya = Vologda Readings*, 2014, no. 70, pp. 7-8 (In Russ.).

19. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G., Vasenin V.A. Otsenka vzaimnogo vliyaniya zdaniy i podzemnykh sooruzheniy [Assessment 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: dko1988@yandex.ru

**Kseniya O. Dubrakova**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Industrial and Civil Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dko1988@yandex.ru

**Солодилова Виктория Андреевна**, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dko1988@yandex.ru

**Victoria A. Solodilova**, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dko1988@yandex.ru