

УДК 624.131.54

## ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕУПЛОТНЕНИЯ НА РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГРУНТОВ

**М.П. Свенторжицкий**

*ФГУП СЗБФ РОСМОРПОРТ, г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** Коэффициент переуплотнения грунтов является одним из основных компонентов современной механики грунтов, начиная с 20-х годов XX века и работ Карла Терцаги, коэффициент переуплотнения и связанные с ним параметры такие как: давление предуплотнения, бытовое давление прочно и повсеместно применяются во всем мире, в Российской Федерации нормативным документом регулирующим проведение и обработку компрессионных испытаний является ГОСТ Р 58326-2018, в нем описаны основные методы обработки лабораторных испытаний: Методы Беккера и Казагранде, но стоит принять во внимание, тот факт, что этим методам более 50 лет, а значит в них предполагался графо-аналитический, более того ручной характер обработки данных, что в 2023 году, при наличии мощных ЭВМ не может являться современным, а значит и конкурентно способным. При этом несмотря на довольно большое количество научных работ по данной теме, авторы обходят вопрос создания новой методики для обработки испытаний стороной, что дает обоснованную почву для проведения научных изысканий в выбранной для анализа и исследований области. В данной статье рассматриваются методики обработки результатов компрессионных испытаний по методу Беккера: нормативная и линейно-интерполяционная предложенная автором в тезисах. Выполняется моделирование железобетонной фундаментной плиты, и определяется зависимость осадок от значения коэффициента переуплотнения.

**Ключевые слова:** коэффициент переуплотнения, Метод Беккера, погрешность вычислений, осадки зданий и сооружений.

**Ссылка для цитирования:** Свенторжицкий М.П. Влияние точности определения значения коэффициента переуплотнения на расчетные параметры грунтов // Инженерные исследования. 2024. №1 (16). С. 37-44. EDN: GUCESU.

## THE EFFECT OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE VALUE OF THE OCR COEFFICIENT ON THE CALCULATED SOIL PARAMETERS

**M.P. Sventorzhiitskiy**

*Federal State Unitary Enterprise Northwestern Basin Federal Branch of ROSMORPORT,  
St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** The OCR coefficient is one of the main components of modern soil mechanics, since the 20s of the twentieth century and the works of Karl Terzaghi, the re-compaction coefficient and related parameters such as: pre-compaction pressure, household pressure are firmly and universally used all over the world, in the Russian Federation a regulatory document regulating the conduct and processing of compression The test is GOST R 58326-2018, it describes the main methods of processing laboratory tests: Becker and Kazagrande methods, but it is worth taking into account the fact, that these methods are more than 50 years old, which means that they assumed a grapho-analytical, moreover manual nature of data processing, which in 2023, in the presence of powerful computers, cannot be modern, and therefore competitively capable. At the same time, despite a fairly large number of scientific papers on this topic, the authors avoid the issue of creating a new methodology for processing tests by the side, which provides a reasonable basis for conducting scientific research in the field chosen for analysis and research. This article discusses 2 methods of processing the results of compression tests using the Becker method: normative and linear interpolation proposed by the author in the theses. The simulation of a reinforced concrete foundation plate is performed, and the dependence of the sediment on the value of the re-compaction coefficient is determined.

**Keywords:** overcompaction coefficient, Becker's method, calculation error, precipitation of buildings and structures.

**For citation:** Sventorzhiitskiy M.P. The effect of the accuracy of determining the value of the ocr coefficient on the calculated soil parameters // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2024. No.1 (16). Pp. 37-44. EDN: GUCESU.

## ВВЕДЕНИЕ

Определение коэффициента переуплотнения и учет влияния данного коэффициента в 2023 году является одной из перспективных областей развития геотехники [1-4]. На данный момент наиболее используемыми методами обработки лабораторных испытаний, описанными в нормативной литературе, а именно в ГОСТ Р 58326-2018 «Грунты. Метод лабораторного определения параметров переуплотнения», считаются методы Беккера [5-8] и Казагранде [9, 10]. В данной статье будет рассматриваться только метод Беккера, поскольку он является менее трудоемким с точки зрения апробации инновационных методик.

Оба метода являются графическими, что означает наличие погрешность при обработке испытаний. Важно отметить, что точность проведения испытания на современном дорогостоящем оборудовании выдает точность получения экспериментальных точек до 0,000001 мм. Такой точности достаточно для проведения испытаний, но недостатки в методике обработки приводят к итоговой погрешности около 0,50, что в современных реалиях мало применимо.

Исходными материалами результатов лабораторных испытаний является Excel таблица с результирующими значениями каждой ступени нагружения образца грунта в которой указаны основные параметры необходимые для обработки.

В данной статье будут рассматриваться две методики обработки результатов лабораторных испытаний:

1. Нормативная по ГОСТ Р 58326-2018 «Грунты. Метод лабораторного определения параметров переуплотнения»;

2. Линейно интерполяционная.

Таким образом, предложив более совершенную, в первую очередь математически, методику с помощью, которой будет возможно без дополнительных затрат повысить точность данного вида испытаний, а также попробовать выявить закономерности, объединяющие значение коэффициента переуплотнения и другие расчетные характеристики грунтов.

В связи с вышесказанным была сформулирована цель настоящей работы: определить влияние коэффициента переуплотнения на осадку фундаментной плиты, используя различные методики для определения коэффициента переуплотнения.

Объектом исследования является осадка фундаментной плиты условного здания.

Предметом исследования влияние точности определения коэффициента переуплотнения по методу Беккера.

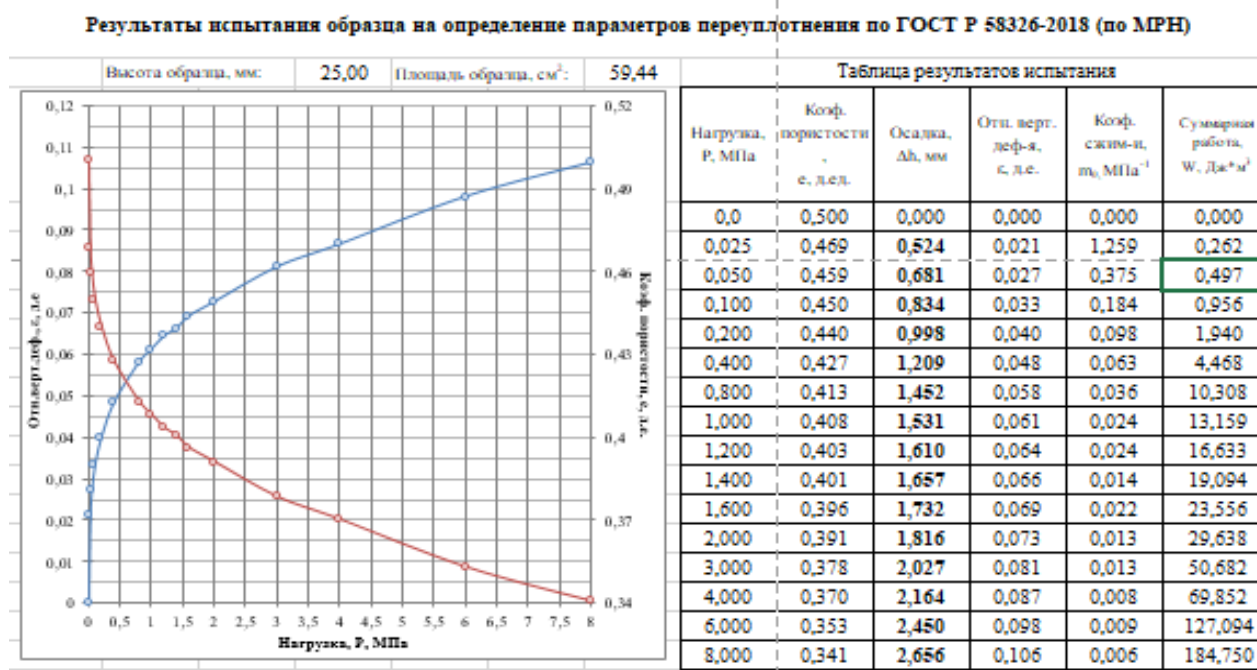


Рис.1 Таблица с результатами компрессионных испытаний график взаимосвязи нагрузки и относительной деформации образца

Fig.1 Table with the results of compression tests graph of the relationship between the load and the relative deformation of the sample

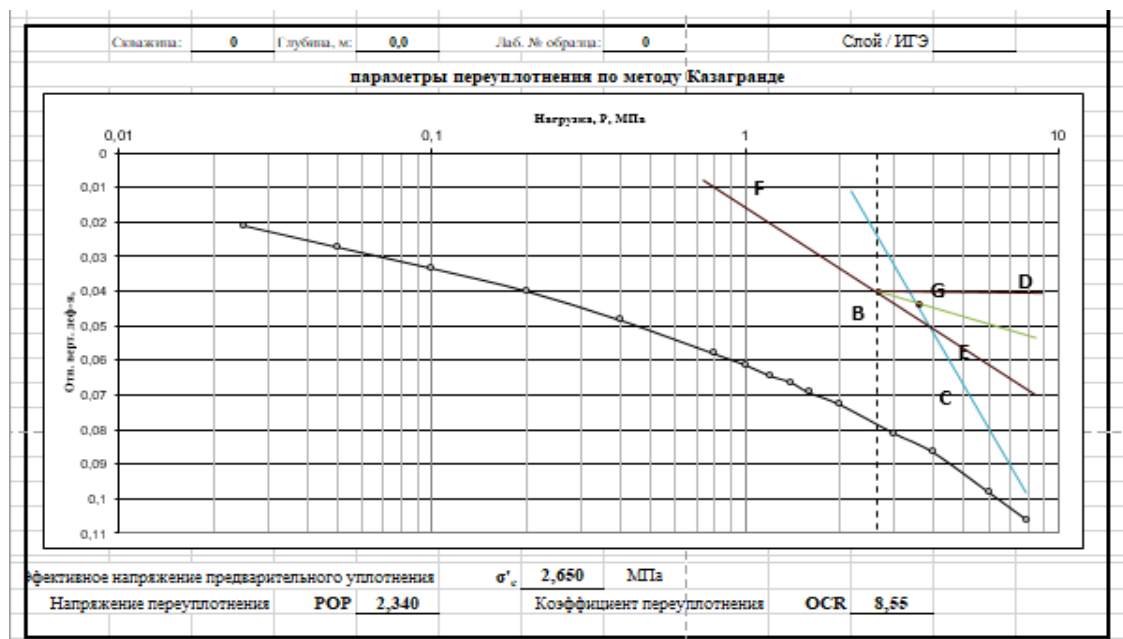
В качестве исходных данных для обработки результатов компрессионных испытаний используются результаты испытания суглинка (Плотность  $\rho=2,13$  г/см<sup>3</sup>; Природная влажность  $W=0,174$  д.ед; Пластичность  $I_p=0,071$  д.ед.), нижекембрийские отложения из скважины №26 на глубине 28,0-28,2 метра, скважина расположена на территории г. Санкт-Петербург, ул. Евгеньевская д.2. Исходные данные представлены на (рис.1).

**ПЕРВАЯ МЕТОДИКА**

Первая методика подробно расписана в ГОСТ Р 58326-2018 «Грунты. Метод лабораторного определения параметров переуплотнения», однако нормативный документ не раскрывает как именно необходимо проводить касательные, что открывает эту область открытой для проведения исследований. Результаты, указанные на рис.2 и рис.3, более подробно разобраны в тезисах, к данной статье приведены как отправная точка научных исследований автора по данному вопросу.



**Рис. 2.** Определение значения коэффициента переуплотнения по методу Беккера  
**Fig. 2.** Determination of the value of the OCR coefficient by the Becker method



**Рис. 3.** Определение значения параметра переуплотнения по методу Казагранде  
**Fig. 3.** Determination of the value of the recompression parameter by the Kazagrande method

### ВТОРАЯ МЕТОДИКА

Вторая методика была предложена автором в тезисах к данной статье в марте 2023 года, она представлена в виде линейной интерполяции взаимосвязи между двумя основными параметрами и осями на графиках, также приведены в данной статье для сохранения хронологии исследования и придания работе целостности.

Поскольку в результате проведения испытания прибор выдает значения суммарной работы ( $W$ ,  $\text{дж}/\text{м}^3$ ) – в дальнейшем будем использовать параметр «у», т.к. это вертикальная ось; а для значения нагрузки ( $P$ , МПа) – использовать параметр «х» из аналогичных соображений. Значения, полученные в результате эксперимента по осям  $x$  и  $y$ , даны с точностью до тысячных, что позволяет использовать следующие соотношения разности координат для каждой двух последовательных точек и уравнения прямой получаем:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = k \quad (1)$$

где:  $k$  - среднее значение тангенса угла наклона прямой, которую можно продлить из линейного участка;  $x_1$  - значение координаты для предыдущей точки по оси абсцисс;  $y_1$  - значение координаты для предыдущей точки по оси ординат;  $x_2$  - значение координаты для следующей точки по оси абсцисс;  $y_2$  - значение координаты для следующей точки по оси ординат.

Определение предварительного положения показано на рис.4.

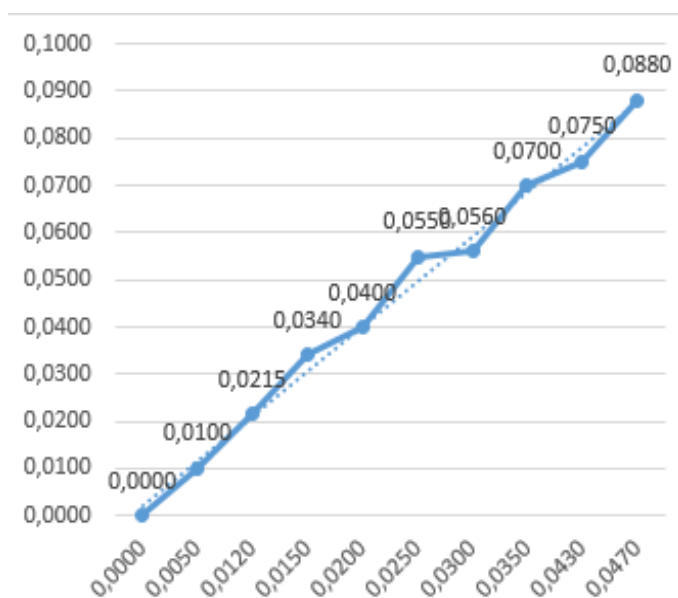


Рис. 4 Определение среднего значения параметра  $k$  с отклонением точек (сплошной линией соединены точки численного моделирования, пунктиром результирующее значение касательной по второй методике).

Fig. 4. Determination of the average value of the parameter  $k$  with the deviation of points (a solid line connects the points of numerical simulation, a dotted line is the resulting tangent value according to the second method).

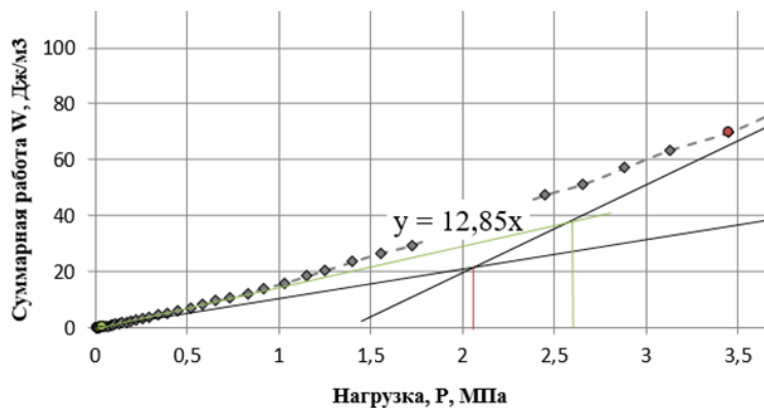
**Таблица 1.** Значения координат точек и тангенса угла наклона прямой

**Table 1.** The values of the coordinates of the points and tangent of the angle of inclination of the straight line

| № точки                        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Координата $x$                 | 0,000 | 0,010 | 0,022 | 0,034 | 0,040 | 0,055 | 0,056 | 0,070 | 0,075 | 0,088 |
| Координата $y$                 | 0,000 | 0,005 | 0,012 | 0,015 | 0,020 | 0,025 | 0,030 | 0,035 | 0,043 | 0,047 |
| Значение тангенса угла наклона | -     | 2,00  | 1,64  | 4,17  | 1,20  | 3,00  | 0,20  | 2,80  | 0,62  | 3,25  |

Примечание: Среднее значение тангенса угла наклона составило 2,10.

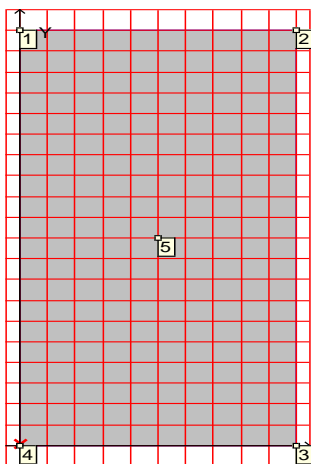
Результаты обработки по первой методике сравниваются на рис.5 с результатами по второй методике, красной линией проведено итоговое значение эффективного переуплотнения 2,061 МПа, для новой методики это значение будет равно 2,58 МПа. Что ближе к значениям, полученным по методу Казагранде для этого образца.



**Рис. 5.** Сравнение результатов проведения касательной по первой и второй методике  
**Fig. 5.** Comparison of the results of the tangent using the first and second methods

В качестве примера рассмотрим задачу определения осадки железобетонной фундаментной плиты с габаритами 20x10x0,2 м. На плиту воздействует равномерно распределенная нагрузка равная 200 кН/м. Шаг сетки примем 1x1 м. Проведение численного моделирования в сателлите программном комплексе SCAD Office («Кросс»). Предварительно моделируем плиту в программном комплексе SCAD Office. Назначаем материал пластины (фундаментной плиты) тяжелый бетон В 30.

На рисунке ниже показана расчетная схема плиты в сателлите Кросс, также указано расположение скважин. Для упрощения расчетов и снижения погрешностей считаем, что все скважины имеют одинаковое геологическое сложение: верхний слой от 0 до 2 метров сложен мелким песком, с -2 до -20 исследуемый слой суглинка. Более подробно характеристики грунта указаны в табл.2 – табл.4.



**Рис. 6.** Расчетная схема фундаментной плиты  
**Fig. 6.** Calculation scheme of the foundation plate

**Таблица 2.** Расчетные параметры грунтов  
**Table 2.** Calculated soil parameters

| Наименование | Удельный вес, кН/м <sup>3</sup> | Модуль деформации, кН/м <sup>2</sup> | Модуль упругости, кН/м <sup>2</sup> | Коэффициент Пуассона | Коэффициент переуплотнения | Давление переуплотнения, кН/м <sup>2</sup> |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|--|
| Песок        | 19,98                           | 8200                                 | 318333,333                          | 0,3                  | 1                          | 0  |
| Суглинок     | 21,33                           | 25400                                | 211666,667                          | 0,3                  | 1                          | 0  |

Ниже представлены протоколы расчета, экспортированные из сателлита «Кросс» осадки фундаментной плиты при коэффициенте переуплотнения равной 1; 2,061; 2,58.

### Нагрузка

Нагрузка на фундаментную плиту 200 кН/м<sup>2</sup>

Отметка подошвы фундаментной плиты 0 м.

Нижняя отметка сжимаемой толщи определяется в точке с координатами: (0,5,0;10,0) м.

### Результаты расчета при коэффициенте переуплотнения равном 1,0.

Нижняя отметка сжимаемой толщи в данной точке -5 м.

Толщина слоя сжимаемой толщи в данной точке 5 м.

Максимальная осадка 6,823 см

Средняя осадка 5,529 см.

Крен фундаментной плиты 0,006 град.

Суммарная нагрузка 4077,472 кН/м<sup>2</sup>.

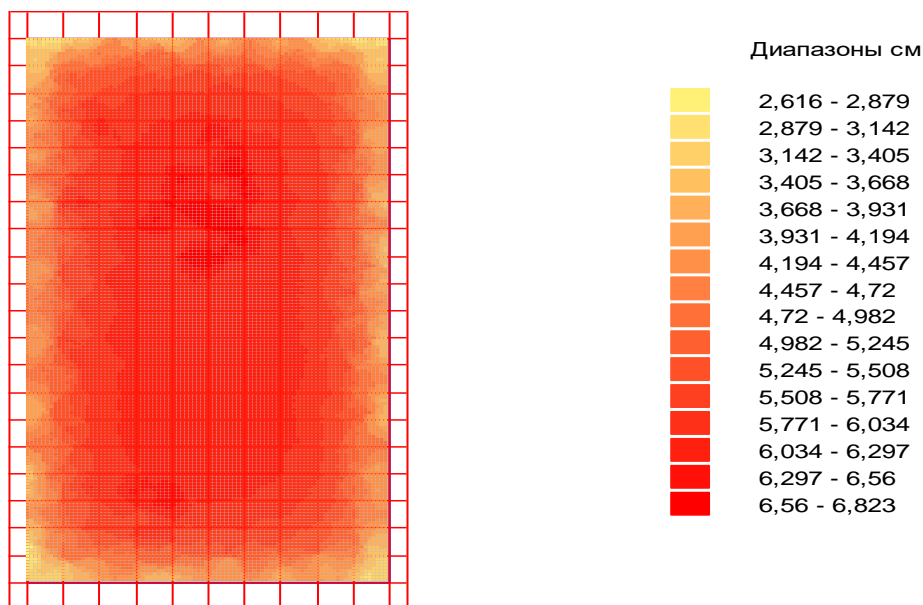


Рис. 7. Распределение осадок фундаментной плиты при коэффициенте переуплотнения равном 1,0

Fig. 7. Distribution of the sediment of the foundation plate with OCR coefficient of 1.0

Таблица 3. Расчетные параметры грунтов

Table 3. Calculated soil parameters

| Наименование | Удельный вес, кН/м <sup>3</sup> | Модуль деформации, кН/м <sup>2</sup> | Модуль упругости, кН/м <sup>2</sup> | Коэффициент Пуассона | Коэффициент переуплотнения | Давление переуплотнения, кН/м <sup>2</sup> |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|--|
| Песок        | 19,98                           | 8200                                 | 318333,333                          | 0,3                  | 1                          | 0  |
| Суглинок     | 21,33                           | 25400                                | 211666,667                          | 0,3                  | 2,061                      | 0  |

### Результаты расчета при коэффициенте переуплотнения равном 2,061.

Нижняя отметка сжимаемой толщи в данной точке -5 м.

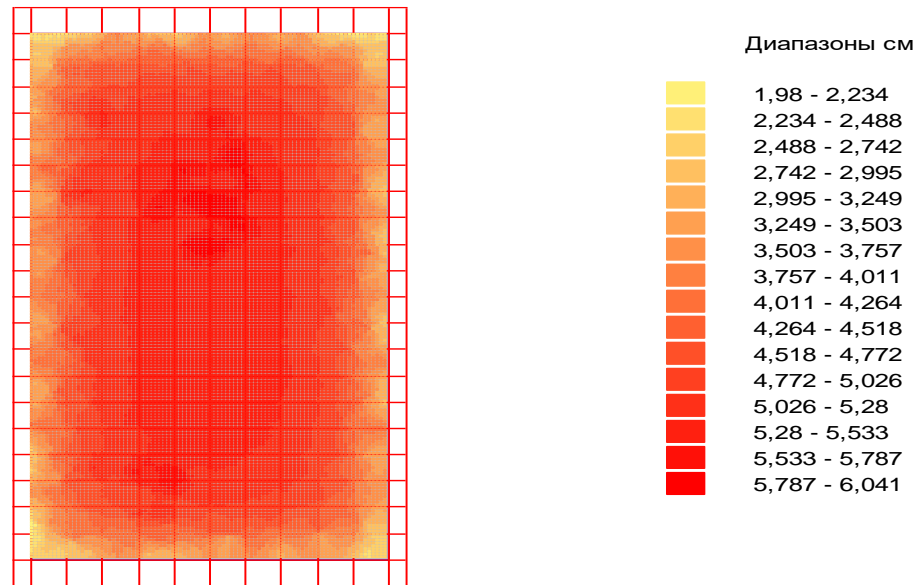
Толщина слоя сжимаемой толщи в данной точке 5 м.

Максимальная осадка 6,041 см.

Средняя осадка 4,719 см.

Крен фундаментной плиты 0,006 град.

Суммарная нагрузка 407,747 кН/м<sup>2</sup>.



**Рис. 8.** Распределение осадок фундаментной плиты при коэффициенте переуплотнения равном 2,061.  
**Fig. 8.** Distribution of the sediment of the foundation plate with OCR coefficient of 2,061.

**Таблица 4.** Расчетные параметры грунтов  
**Table 4.** Calculated soil parameters

| Наименование | Удельный вес, кН/м <sup>3</sup> | Модуль деформации, кН/м <sup>2</sup> | Модуль упругости, кН/м <sup>2</sup> | Коэффициент Пуассона | Коэффициент переуплотнения | Давление переуплотнения, кН/м <sup>2</sup> |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|--|
| Песок        | 19,98                           | 8200                                 | 318333,333                          | 0,3                  | 1                          | 0  |
| Суглинок     | 21,33                           | 25400                                | 211666,667                          | 0,3                  | 2,58                       | 0  |

**Результаты расчета при коэффициенте переуплотнения равном 2,58.**

Нижняя отметка сжимаемой толщи в данной точке -5 м.

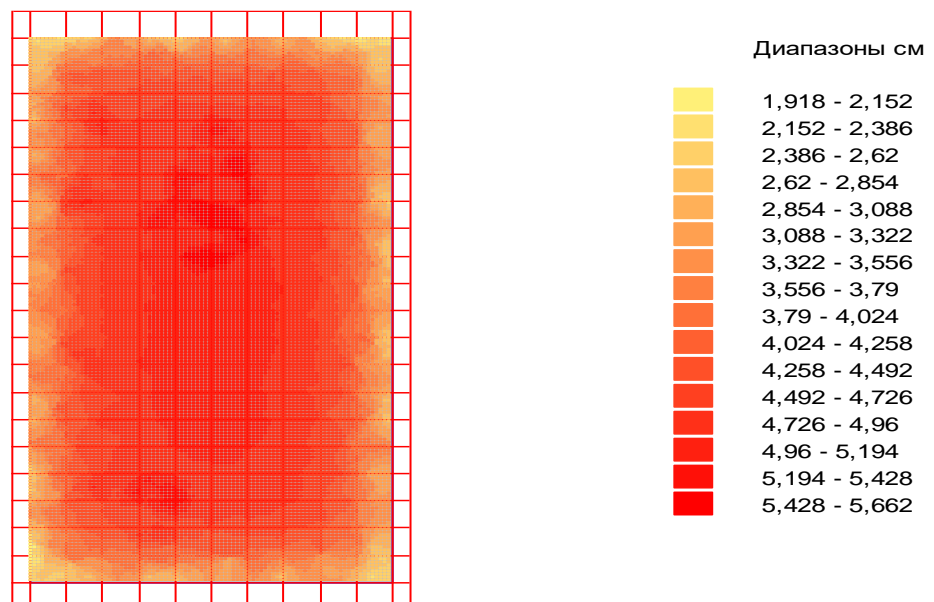
Толщина слоя сжимаемой толщи в данной точке 5 м.

Максимальная осадка 5,662 см.

Средняя осадка 4,406 см.

Крен фундаментной плиты 0,007 град.

Суммарная нагрузка 407,747 кН/м<sup>2</sup>.



**Рис. 9.** Распределение осадок фундаментной плиты при коэффициенте переуплотнения равном 2,58.  
**Fig. 9.** Distribution of the sediment of the foundation plate with OCR coefficient of 2,58.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были установлено, что использование более совершенных методов оценки коэффициента переуплотнения, приводит к уменьшению расчетной осадки фундаментной плиты на 13% при сравнении стандартного расчета при учете коэффициента переуплотнения 2,061; и на 20,5% при сравнении с уточненным значением коэффициента переуплотнения, что позволяет значительно снизить затраты на фундаментную плиту: снизить коэффициент армирования, уменьшить площадь фундамента или увеличить нагрузку на фундаментную плиту.

В особых случаях подобное уточнение может повлиять на характер работы фундамента, и позволит прибегнуть к более простым и дешевым вариантам.

Однако в статье есть ряд важных ограничений и нерешенных задач:

1. Данные методики рассматривались только для одного вида грунтов, полутвердых, тугопластичных суглинков, по видам огибающих кривых можно определить, что для такого вида грунтов методика работает и дальнейшее исследования не требуются, но необходима апробация методики на других типах грунтов, преимущественно супесях и глинах различного генезиса.

2. В данной статье рассматривалась идеализированная модель сложения грунтов, в реальных практических задачах это может увеличить неравномерность осадок здания, что в свою очередь может как снизить, так и повысить влияние коэффициента переуплотнения.

3. Коэффициент переуплотнения несущего слоя грунта, даже находясь под другим слоем, не имеющим эффекта переуплотнения, оказывает влияния на осадку здания, поэтому в практических задачах важно точно определять параметр переуплотнения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков Д.А. Методы определения параметров переуплотнения грунтов // Наука в информационном обществе. 2018. С. 85-90.
2. Болдырев Г.Г., Арефьев Д.В., Гордеев А.В. Определение деформационных характеристик грунтов различными лабораторными методами // Инженерные изыскания. 2010. № 8. С. 16-23.
3. Vasenin V. A. The method of determining the overconsolidation pressure based on the statistical dependencies of the distribution of the compression index. Part 1. Justification of the method // Inzhenernaya geologiya. 2019. Vol. 14, No. 3, Pp. 37-57. [In Russ]. DOI: 10.25296/1993-5056-2019-14-3-37-57
4. Строкова Л.А. Учет переуплотненных грунтов в расчетах оседания земной поверхности при сооружении туннелей // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 316. №1. С. 147-151.
5. Труфанов А.Н. [и др.]. Методы определения параметров переуплотнения грунтов и их практическое применение в условиях Санкт-Петербурга. Инженерные изыскания. 2014. № 11. С. 26-32.
6. Мирный А.Ю. Определение параметров переуплотнения // Geoinfo.ru информационный ресурс для инженеров изыскателей. 2016. №10. С 11-15.
7. Komolov V., Belikov A., Demenkov P. Research on load-bearing constructions behavior during pit excavation under «Slurry Wall» protection // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. V. 1. 180. Pp. 313-323. DOI: 10.1007/978-3-030-83917-8\_29
8. Becker D. E. [и др.]. Work as a criterion for determining in- situ and yield stresses in clays // Canadian Geotechnical Journal. 1987. Pp. 549-565.
9. Свенторжицкий М.П. Снижение погрешности обработки компрессионных испытаний методом Беккера // Неделя науки ИСИ, 3–9 апреля 2023 г. В 3 ч. Ч. 2. СПб. ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 450-452.
10. Casagrande A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance // Proceedings of the 1st International SoilMechanics and Foundation Engineering Conference. Cambridge, Massachusetts, USA, 22-26 June 1936. V.3. P. 60-64.

## ОБ АВТОРАХ

**Михаил Павлович Свенторжицкий** – ведущий инженер. ФГУП СЗБФ РОСМОРПОРТ. 198035, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, д.1. E-mail: sventor1974@mail.ru

## ABOUT THE AUTHORS

**Mikhail P. Sventorzhiitskiy** – a leading engineer of FSUE NWBF ROSMORPORT. 198035, Russia, St.Petersburg, Dvinskaya st., 1. E-mail: sventor1974@mail.ru