

Расчетные осадки зданий, возводимых на основаниях, усиленных цементацией в условиях компрессионного сжатия / Л.А. Бартоломей, М.Л. Бартоломей, А.Н. Богомолов, О.А. Богомоллова // Construction and Geotechnics. – 2025. – Т. 16, № 2. – С. 37–45. DOI: 10.15593/2224-9826/2025.2.04

Bartolomei L.A., Bartolomei M.L., Bogomolov A.N., Bogomolova O.A. Calculated precipitation of buildings erected on foundations reinforced with cementation under compression conditions. *Construction and Geotechnics*. 2025. Vol. 16. No. 2. Pp. 37-45. DOI: 10.15593/2224-9826/2025.2.04

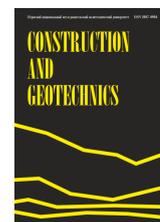


**пермский  
политех**

**CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS**

**Т. 16, № 2, 2025**

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2025.2.04

УДК 624.134

## **РАСЧЕТНЫЕ ОСАДКИ ЗДАНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ НА ОСНОВАНИЯХ, УСИЛЕННЫХ ЦЕМЕНТАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ**

**Л.А. Бартоломей<sup>1</sup>, М.Л. Бартоломей<sup>2</sup>, А.Н. Богомолов<sup>3</sup>, О.А. Богомоллова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация

<sup>2</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, Российская Федерация

<sup>3</sup>Научно-проектное экспертно-консультационное предприятие «ОиФ»,  
Новосибирск, Российская Федерация

<sup>4</sup>Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация

### О СТАТЬЕ

Получена: 07 июля 2024  
Одобрена: 22 декабря 2024  
Принята к публикации:  
2 июня 2025

#### Ключевые слова:

осадка, здание, компрессионное сжатие, цементация, гидроразрыв, численные методы, сжимаемая толща.

### АННОТАЦИЯ

Обосновывается подход к назначению мощности сжимаемой толщи грунта при расчете осадок модифицированного основания. Анонсируемый подход может быть применен для оснований, усиленных методом цементации грунта в режиме гидроразрыва. Перед проведением мероприятий по укреплению грунта грунтовый массив, подлежащий модификации, должен быть оконтурен непроницаемым геотехническим барьером. Это необходимо для того, чтобы в процессе цементации грунт работал в условиях компрессионного сжатия. Проведено сравнение результатов расчета осадок 7-этажного здания, выполненных в программном комплексе ANSYS и на основе сделанных предложений. Оказалось, что их разница составляет 12,5 %. Кроме того, расчетные величины осадок согласуются с результатами геомониторинга здания, проведенного в 2023 г.

Расчет осадок многоэтажного здания в г. Перми, выполненный при помощи упомянутого в начале статьи метода, с учетом сделанных авторами предложений показывает весьма удовлетворительное соответствие величин расчетных и действительных осадок здания. При расчетной осадке, равной 4,0 см, наблюдаемая осадка оказалась равной 1,4 см.

Приведенные выше примеры подтверждают обоснованность предложения о назначении мощности сжимаемой толщи при расчете осадок модифицированного основания.

© **Бартоломей Леонид Адольфович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: bartolomei.leonid@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8092-6476.

**Бартоломей Мария Леонидовна** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: bartolomei.m@icmm.ru, ORCID: 0009-0003-3193-7605.

**Богомолов Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор, e-mail: banzaritcyn@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7878-6846.

**Богомоллова Оксана Александровна** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: boazaritcyn@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1163-6285.

**Leonid A. Bartolomei** – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: bartolomei.leonid@mail.ru . ORCID: 0000-0001-8092-6476.

**Mariya L. Bartolomei** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: bartolomei.m@icmm.ru, ORCID: 0009-0003-3193-7605.

**Aleksandr N. Bogomolov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: banzaritcyn@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7878-6846.

**Oksana A. Bogomolova** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: boazaritcyn@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1163-6285.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

## **CALCULATED PRECIPITATION OF BUILDINGS ERECTED ON FOUNDATIONS REINFORCED WITH CEMENTATION UNDER COMPRESSION CONDITIONS**

**L.A. Bartolomei<sup>1</sup>, M.L. Bartolomei<sup>2</sup>, A.N. Bogomolov<sup>3</sup>, O.A. Bogomolova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of Russian Academy of Science, Perm, Russian Federation

<sup>3</sup>Scientific-Project Expert-Consulting Enterprise "OiF", Novosibirsk, Russian Federation

<sup>4</sup>Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 07 July 2024  
Approved: 22 December 2024  
Accepted for publication:  
02 June 2025

#### Keywords:

sediment, building, compression  
compression, cementation, hydraulic  
fracturing, numerical methods, com-  
pressible thickness.

### ABSTRACT

The proposed work substantiates an approach to assigning the power of the compressible soil thickness when calculating the sediment of a modified base. The announced approach can be applied to bases reinforced by the method of jet cementation of soil in the mode of hydraulic fracturing. Before carrying out measures to strengthen the soil, the soil mass to be modified must be contoured with impermeable geotechnical barriers. This is necessary in order for the soil to work under compression conditions during the cementation process. The results of calculating the precipitation of a 7-storey building, performed in the ANSYS software package and based on the proposals made, were compared. It turned out that their difference is 12.5%. In addition, the calculated precipitation values are consistent with the results of the geomonitoring of the building conducted in 2023.

The calculation of the precipitation of a multi-storey building in the city of Perm, performed using the method mentioned at the beginning of the article, taking into account the proposals made by the authors, shows a very satisfactory correspondence between the values of the calculated and actual precipitation of the building. With an estimated draft of 4 cm, the observed draft turned out to be 1.4 cm.

The above examples confirm the validity of the proposal to assign the capacity of the compressible thickness when calculating the sediment of the modified base.

---

## **Введение**

Расчетные значения осадок оснований сооружений зависят от множества параметров, которые определяют напряженно-деформированное состояние (НДС) грунтового массива. В значительной степени величина расчетных осадок зависит от мощности (глубины) сжимаемой толщи грунта. Адекватное назначение этой величины обеспечивает во многих случаях высокую достоверность получаемых результатов.

В настоящей статье теоретически обосновывается назначение величины мощности сжимаемой толщи в том случае, когда грунтовый массив подвергается модификации (усилению) посредством цементации в режиме гидроразрыва. При этом модифицируемый грунт находится внутри внешнего непроницаемого контура, что обеспечивает протекание процесса усиления грунта основания в условиях, практически соответствующих условиям компрессионного сжатия.

В основе сделанных авторами предложений лежит закон уплотнения грунтов.

## **Теоретическое обоснование расчета осадок зданий в условиях компрессионного сжатия усиленного цементацией основания**

Строительство зданий различной этажности на плитном фундаменте подразумевает наличие в основании мало сжимаемых грунтов. Если таковые отсутствуют, то основание можно модифицировать (усилить) путем цементации слагающих грунтов в режиме гидроразрыва. Этот процесс подробно описан и регламентирован в СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» [1].

Согласно СП 45.13330.2017 [1] началу процесса цементации грунтов в режиме гидроразрыва предшествует создание внешнего непроницаемого контура, так называемого геотехнического барьера. Этот внешний контур ограничивает область усиления, и при надлежащем качестве его устройства модифицируемый грунт, находящийся внутри этого контура, будет «работать» в условиях компрессии при невозможности его бокового расширения.

Для создания внешнего контура давление разрыва должно превысить напряжения от собственного веса грунта:

$$P_{\text{раз}} > P_{\gamma h} = \gamma h, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – удельный вес грунта,  $h$  – глубина зоны инъецирования, м.

Помимо этого, в режиме гидроразрыва происходит структурное разрушение грунта, исчерпывается его структурная прочность, реализуется условие прочности Мора – Кулона [2–4], которым описывается поведение грунта в принятой нами механико-математической модели:

$$P_{\text{раз}} > \tau = P \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (2)$$

где  $P$  – внешнее давление,  $\varphi$  – угол внутреннего трения,  $c$  – сцепление грунта (в общем случае все песчаные грунты природного сложения обладают сцеплением).

Из опыта устройства усиленных цементацией оснований для зданий этажностью до 26 этажей можно утверждать, что усиление основания до глубины 12,0 м от подошвы фундаментной плиты является достаточным.

Как правило, глубина заложения фундаментной плиты является такой, что ее подошва находится на глубине 3,0–4,0 м от дневной поверхности грунта. С учетом этого обстоятельства можно сказать, что нижняя граница массива модифицированного грунта располагается на глубине 15,0–16,0 м. Средний удельный вес грунтов в зоне усиления, как правило, не превышает 20,0 кН/м<sup>3</sup>. Таким образом, для гидроразрыва грунта, находящегося внутри непроницаемого внешнего контура, достаточно давления в 0,5–0,6 МПа.

Предварительное (до начала процесса инъецирования) создание внешнего непроницаемого контура исключает выход цементного раствора из внутреннего объема усиливаемого массива. Последующее нагнетание цементного раствора в режиме гидроразрыва в этот объем массива грунта приводит к изменению его напряженно-деформированного состояния. Нагнетаемый под высоким давлением цементный раствор распространяется по всем трем направлениям, что приводит к гидростатическому распределению напряжений:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = P_{\text{раз}}. \quad (3)$$

Наличие пригруза в виде 3–4 этажей строящегося здания на поверхности усиливаемого массива предотвращает проникновение инъецируемого раствора по вертикали вверх.

Давление гидроразрыва внутри усиливаемого массива в процессе нагнетания раствора достигает 5,0–6,0 МПа. Через некоторое время, после окончания инъецирования, происходит релаксация напряжений, но грунт «запоминает» давление переуплотнения, действовавшего на него [5].

Из опыта известно, что давление по подошве фундаментной плиты для зданий высотой до 26 этажей не превышает 0,4–0,5 МПа, что в 10–15 раз меньше давления переуплотнения, достигнутого в процессе нагнетания цементного раствора в режиме гидроразрыва. Поэтому после твердения цементного раствора грунт внутри оконтуренного массива будет находиться в переуплотненном состоянии, его можно рассматривать как квазиоднородное и квазиупругое

тело. Поведение грунта основания, переуплотненного в условиях компрессии, при возведении на нем здания аналогично поведению грунта при его испытании в компрессионном приборе по ветви первичного нагружения, разгрузки и ветви повторного нагружения [6, 7].

Дополнительные напряжения, возникающие в процессе возведения здания, «гасятся» внутри модифицированного объема грунта, мощность которого равна глубине инъецирования  $h$ . Ниже этой границы происходит рассеивание напряжений [6, 7].

При создании внешнего контура происходит увеличение площади опирания фундаментной плиты здания, которая при условии ее прямоугольной формы равна  $F = b \times l$  ( $b$  и  $l$  – поперечный и продольный размеры плиты). Создание геотехнического барьера по контуру фундаментной плиты увеличивает линейные размеры поверхности опирания на величину  $\zeta$ . Тогда ее площадь определится выражением:

$$F_{\text{оп}} = (l + \zeta)(b + \zeta) = lb + (l + b)\zeta + \zeta^2. \quad (4)$$

Из нашего опыта усиления оснований фундаментов многочисленных объектов, приобретенного в течение 20 лет, можно утверждать, что увеличение площади опирания при инъецировании по контуру фундаментной плиты составляет 15–20 %, что снижает давление от внешней нагрузки на нижней границе инъецированного контура на те же 15–20 %.

Для переуплотненного и квазиупругого грунта справедлив закон уплотнения, базирующийся на законе Гука [6, 7]:

$$m_o = (e_o - e_i) / P, \quad (5)$$

где  $m_o$  – коэффициент сжимаемости;  $e_o$  – начальный коэффициент пористости усиливаемого массива грунта;  $e_i$  – коэффициент пористости после усиления массива (находится через изменения объема пор после усиления массива);  $P$  – давление под фундаментной плитой.

Зная  $m_o$ , находим коэффициент относительной сжимаемости:

$$m_v = m_o / (1 + e_o). \quad (6)$$

Вертикальная деформация  $\varepsilon_z$  [6, 7]:

$$\varepsilon_z = m_v P. \quad (7)$$

или можем записать

$$S = h \cdot \varepsilon_z. \quad (8)$$

Таким образом, зная глубину зоны усиления, можно определить осадку здания на квазиупругом основании, усиленном цементацией в режиме гидроразрыва.

## **Результаты расчетов**

### **Расчет осадки семиэтажного здания в г. Перми**

В качестве примера рассмотрим результаты расчета осадки, строящегося на левом высоком берегу р. Камы в г. Перми 7-этажного здания с монолитным каркасом и подземной парковкой.

Отметка низа фундаментной плиты –4,16 м от поверхности грунта, толщина плиты  $b = 800$  мм. Мощность зоны усиления основания  $h = 4,0$  м. Давление по подошве фундаментной плиты  $P = 0,17$  МПа.

Грунт в зоне усиления соответствует ИГЭ-3 и представляет собой песок гравелистый средней плотности, начальный коэффициент пористости  $e_0 = 0,54$ , угол внутреннего трения  $\varphi = 20^\circ$ , сцепление  $c = 1,6$  кПа, модуль деформации  $E = 24,9$  МПа [8].

Определив изменение коэффициента пористости  $e_i$  после усиления массива грунта, находим по формулам (5)–(8) осадку здания  $S = 2,8$  см.

На стадии проектирования мероприятий по усилению основания [9] выполнен пространственный расчет системы «основание – фундамент – здание» по методике [5] в расчетном комплексе ANSYS, реализующем метод конечно-элементного анализа. Ниже представлена расчетная схема системы «основание – фундамент – здание» для здания, строящегося на левом высоком берегу р. Камы в г. Перми (рис. 1, 2) [9].

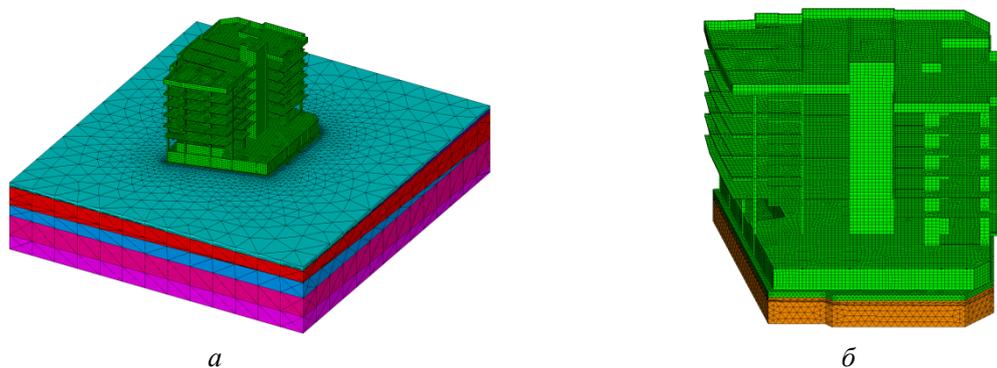


Рис. 1. Механико-геометрическая модель системы «основание – сооружение» (а), механико-геометрическая модель «модифицированное основание – сооружение» (б)

Fig. 1. Mechanical-geometric model of the «foundation – structure» system (a), mechanical-geometric model «modified foundation – structure» (b)

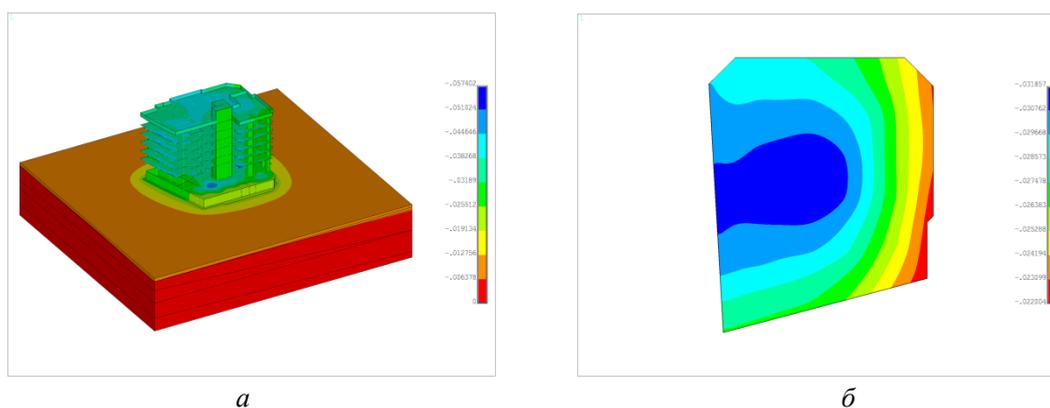


Рис. 2. Шкала вертикальных перемещений (а); изополя вертикальных перемещений точек фундаментной плиты (б)

Fig. 2. Vertical Displacement Scale (a); isofields of vertical displacements of the points of the foundation slab (b)

При составлении расчетной схемы учтены геологическое строение участка местности, физико-механические, прочностные и деформационные свойства грунтов, модифицированного основания и материала фундамента, которые соответствуют данным, представленными в отчетах [8–11].

В качестве критерия прочности грунтов был принят критерий прочности Мора – Кулона [2–4].

После проведения сбора нагрузок и выполнения расчетов в программном комплексе ANSYS получены характеристики полей перемещений, графические интерпретации которых представлены на рис. 2.

В результате анализа полученных при вычислениях данных установлено, что максимальная абсолютная осадка фундаментной плиты составила  $S_z^{\max} = 3,2$  см, а максимальные абсолютные осадки каркаса – 5,7 см.

Таким образом, разница величин расчетных осадок, полученных при помощи ANSYS и предлагаемого метода расчета, составляет 12,5 %.

Анализ данных геомониторинга здания в период строительства (как до, так и после усиления основания), проведенного в 2023 г., показал, что при нагрузке на фундаментную плиту, равной 70 % от проектной нагрузки (11-й цикл наблюдений), осадки здания составляли 8,0–9,5 мм.

### **Расчет осадки фундаментной плиты многоэтажного дома, расположенного в г. Перми по адресу ул. Строителей 37А**

В отличие от предыдущего примера, когда расчет осадок выполнен в пространственной постановке, в настоящем примере при расчете осадок использован инженерный метод расчета, подробное описание которого приведено в статье авторов Л.А. Бартоломей, О.А. Богомолова, В.Д. Гейдт, А.В. Гейдт «Инженерный метод расчета осадок грунтового основания протяженного плитного фундамента», которая публикуется в трудах III Всероссийской конференции с международным участием «Фундаменты глубокого заложения и проблемы геотехники территорий». Этот инженерный метод основан на результатах конечно-элементного анализа грунтового массива в плоской постановке, выполненного при помощи компьютерной программы FEA [12].

Вся необходимая для проведения расчетов информация содержится в документах [13–15]. Кроме того, в работе [16] представлены результаты статических штамповых испытаний усиленного грунта основания фундаментной плиты упомянутого выше здания, которые показали, что модуль деформации модифицированного грунта оказался равен  $E_{\text{мод}} = 58,0$  МПа.

Не вдаваясь в подробное описание инженерного метода расчета, укажем, что величина осадки отдельного слоя неоднородного, в том числе и модифицированного, основания определяется выражением

$$S_i = k_i \cdot S^{24} \cdot H_3, \quad (9)$$

где  $k_i$  – коэффициент, определяемый по графику;  $S^{24}$  – осадка слоя грунта при условии, что его толщина равна  $24 H_3$ , определяемая при помощи таблиц;  $H_3$  – глубина заложения фундамента.

Определим все входящие в формулу (9) величины и получим, что  $S = 0,0716 \times 0,1567 \times 3,6 \text{ м} = 0,0404 \text{ м} \approx 4 \text{ см}$ .

Заметим, что величина осадки, полученная на основании сделанных выше предложений и вышеупомянутого инженерного метода расчета, оказалась несколько больше величины действительной осадки здания, определенной на втором этапе мониторинга, которая

оказалась равной 0,018 м (1,8 см) [17]. Однако следует иметь в виду, что в конечном итоге действительная осадка может оказаться существенно большей, ведь процесс стабилизации осадок может продолжаться весьма длительный период времени [18–20].

## Заключение

Предложен теоретически обоснованный подход к расчету осадок зданий, возводимых на основаниях, модифицированных методом цементации в режиме гидроразрыва при условии, что укрепляемый грунт находится внутри замкнутого контура (геотехнического барьера). Показано, что при расчетах осадок величину сжимаемой толщи следует ограничивать толщиной слоя модифицированного грунта.

Проведено сравнение результатов расчета осадок 7-этажного здания, выполненных в программном комплексе ANSYS и на основе сделанных предложений. Оказалось, что их разница составляет 12,5 %. Кроме того, расчетные величины осадок согласуются с результатами геомониторинга здания, проведенного в 2023 г.

Расчет осадок многоэтажного здания в г. Перми, выполненный при помощи упомянутого в начале статьи метода, с учетом сделанных авторами предложений показывает весьма удовлетворительное соответствие величин расчетных и действительных осадок здания. При расчетной осадке, равной  $S_{\text{расч.}} = 4,0$  см, наблюдаемая осадка оказалась равной  $S_{\text{факт.}} = 1,8$  см. Вполне вероятно, что по прошествии некоторого времени значения расчетной и действительной осадок могут вплотную приблизиться друг к другу.

Приведенные выше примеры подтверждают обоснованность предложения о назначении мощности сжимаемой толщи при расчете осадок модифицированного основания.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер темы 124020700047-3.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

## Библиографический список

1. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87: утв. приказом Минстроя России от 05.07.2018 № 396/пр. – М., 2017.
2. Coulomb, C.A. Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs, a la architecture / C.A. Coulomb // Mem. Acad. Roy. Div. Sav. – 1776. – Vol. 7. – P. 343–387.
3. Coulomb, C.A. Application des riles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L`architecture / C.A. Coulomb // Memories de savants strangers de L`Academlie des sciences de Paris. – 1773. – 233 p.
4. Mohr, C.O. Beitrag zur Theorie der Bogenfachwerksträger / C.O. Mohr // Zeitschrift des Architekten und Ingenieur-Vereins zu Hannover. – 1874. – Vol. 20. – 223–238 p.
5. Бартоломей, Л.А. Прогноз осадок сооружений с учетом совместной работы основания, фундамента и надземных конструкций / Л.А. Бартоломей. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 1999. – 147 с.
6. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
7. Бартоломей, А.А. Механика грунтов / А.А. Бартоломей. – М.: АСВ, 2003. – 304 с.

8. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий на объекте «Многоквартирный жилой дом со встроенно-пристроенными помещениями и подземной автостоянкой по адресу ул. Окулова в Ленинском районе города Перми», шифр 22.046-ИГИ. – ООО «Краевая геология», Пермь, 2022. – 186 с.
9. Проектная документация «Многоквартирный жилой дом со встроенно-пристроенными помещениями и подземной автостоянкой по адресу ул. Окулова в Ленинском районе города Перми», шифр 1021-21. – ООО «ПЕРМОБЛПРОЕКТ», 2022. – 258 с.
10. Проектная документация «Многоквартирный жилой дом со встроенно-пристроенными помещениями и подземной автостоянкой по адресу ул. Окулова в Ленинском районе г. Перми». Усиление основания фундаментной плиты. Раздел 4 «Конструктивные решения», шифр 05/23-П-1-КР. – Т. 4. – ООО «Геотехника Урала», Пермь, 2023. – 51 с.
11. Пояснительная записка по результатам производства наблюдений за осадками элементов конструкции строящегося здания на объекте: «Многоквартирный жилой дом со встроенно-пристроенными помещениями и подземной автостоянкой по адресу ул. Окулова в Ленинском районе города Перми», шифр 23.044-ИГИ. – ООО «Краевая геология», Пермь, 2023. – 117 с.
12. ФЕА: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617889 / Богомолов А.Н., Богомоллова О.А. и др.; зарег. 23 июля 2015 г.
13. Бартоломей, Л.А. Геотехнические расчеты системы «основание – фундамент – здание» многоквартирного жилого дома по адресу: ул. Строителей, 37А в Дзержинском районе г. Перми / Л.А. Бартоломей, В.С. Беликов, С.В. Пискотин. – ООО «Геотехника Урала», Пермь, 2019. – 64 с.
14. Многоквартирный дом по ул. Строителей, 37А в г. Перми. Пояснительная записка по результатам производства наблюдений за осадками элементов конструкции строящегося объекта 20.074-ИГДИ. – ООО «Краевая геология», Пермь, 2021. – 30 с.
15. Многоквартирный дом по ул. Строителей, 37А в Дзержинском районе г. Перми. Проектная документация, Геотехнические расчеты 1202-18-КЖ0.1. – ООО «Альфа+», Пермь, 2020. – 25 с.
16. Отчет об испытаниях грунтов штампами на объекте: «Многоквартирный дом по ул. Строителей, 37А в г. Перми. Статические испытания штампом усиленного грунта основания фундаментной плиты» / НП «Национальный альянс изыскателей “ГеоЦентр”». – Пермь, 2020.
17. Многоквартирный дом по ул. Строителей, 37А в г. Перми. Пояснительная записка по результатам производства наблюдений за осадками элементов конструкции строящегося объекта 20.074-ИГДИ. – ООО «Краевая геология», Пермь, 2021. – 30 с.
18. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. – М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.
19. Гольдштейн, М.Н. Механические свойства грунтов / М.Н. Гольдштейн. – М.: Стройиздат, 1979. – 361 с.
20. Далматов, Б.И. Осадки фундаментов многоэтажного здания / Б.И. Далматов // Научные труды ЛИСИ. Вып. 18. Вопросы механики грунтов. – Л.: Изд-во ЛИСИ, 1954.

## References

1. SP 45.13330.2017. Earthworks, foundations and foundations. Updated version of SNIIP 3.02.01-87. (Approved by the order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 05.07.2018 No. 396/etc.).
2. Coulomb C.A. Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs, a la architecture. *Mem. Acad. Roy. Div. Sav.*, 1776, vol. 7, pp. 343-387.

3. Coulomb C.A. Application des riles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L'architecture. *Memories de savants strangers de L'Academlie des sciences de Paris*, 1773, 233 p.

4. Mohr C.O. Beitrag zur Theorie der Bogenfachwerksträger // *Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover*. 1874, vol. 20, 223-238pp.

5. Bartolomey L.A. Forecast of settlements of structures, taking into account the joint work of the base, foundation and overground structures. Perm, PSTU, 1999, 147 p.

6. Tsytovich N.A. Soil mechanics. Moscow, High School, 1983, 288 p.

7. Bartolomei A.A. Soil mechanics. Moscow, ASV, 2003, 304 p.

8. Technical report on the results of engineering and geological surveys at the facility "Multi-apartment residential building with built-in attached premises and underground parking at Okulova St. in the Leninsky district of Perm". cipher 22.046-IGI, LLC "Regional Geology", Perm, 2022 - 186c.

9. Project documentation "Apartment building with built-in attached premises and underground parking at Okulova St. in the Leninsky district of Perm", cipher 1021-21, PERMOBLPROEKT LLC, 2022 - 258c.

10. Project documentation «An apartment building with built-in attached premises and an underground parking lot at Okulova St. in the Leninsky district of Perm». Reinforcement of the foundation plate base. Section 4 «Constructive solutions», cipher 05/23-P-1-KR, Volume 4. LLC «Geotechnics of the Urals», Perm, 2023 - 51c.

11. Explanatory note on the results of observations of precipitation of structural elements of a building under construction at the facility: «An apartment building with built-in and attached spaces and an underground parking lot at Okulova St. in the Leninsky district of Perm», cipher 23.044-IGI, LLC «Regional Geology», Perm, 2023 - 117c.

12. Bogomolov A.N. [et al.]. FEA: Certificate of state registration of computer program no. 2015617889 (2015).

13. Bartolomey L.A., Belikov V.S., Piskotin S.V. Geotechnical calculations of the «foundation-foundation-building» system of an apartment building at 37A Stroiteley str. in the Dzerzhinsky district of Perm, LLC «Geotechnics of the Urals», Perm, 2019. – 64 p.

14. Apartment building at 37A Stroiteley str. in Perm. Explanatory note on the results of observations of precipitation of structural elements of the object under construction 20.074-IGDI. - Limited Liability Company «Regional Geology». Perm, 2021. – 30 p.

15. Apartment building at 37A Stroiteley str. in the Dzerzhinsky district of Perm. Design documentation, Geotechnical calculations 1202-18-KJ0.1. Alfa+ Limited Liability Company. Perm, 2020. – 25c.

16. Report on soil testing by stamps at the facility: «Apartment building at 37A Stroiteley str. in Perm. Static tests with a stamp of reinforced soil of the base of the foundation plate» / NP «National Alliance of Prospectors «Geocenter»», Perm. 2020.

17. Apartment building at 37A Stroitelei str. in Perm. Explanatory note on the results of observations of precipitation of structural elements of the object under construction 20.074-IGDI. - Limited Liability Company «Regional Geology». Perm, 2021. – 30 p.

18. Vyalov S.S. Rheological foundations of soil mechanics. Moscow, Higher School, 1978, 447 p.

19. Goldstein M.N. Mechanical properties of soils. Moscow, Stroyizdat, 1979, 361 p.

20. Dalmatov B. I. Precipitation of foundations of a multi-storey building. *Scientific works of LISI*. Iss. 18. Questions of soil mechanics. Leningrad, LISI Publishing House, 1954.