**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 8, № 4, 2017
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.4.10

УДК 624.15

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УТОЧНЕННОГО МЕТОДА ПОСЛОЙНОГО СУММИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Я.А. Пронозин¹, В.М. Чикишев², Д.В. Рачков¹

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

²ООО «Геофонд+», Тюмень, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 05 июля 2017

Принята: 28 августа 2017

Опубликована: 15 декабря 2017

Ключевые слова:

упругое полупространство, осадка, модуль деформации, трехосное сжатие

АННОТАЦИЯ

Расчет осадки является основным при проектировании фундаментов мелкого заложения (ФМЗ), так как абсолютная осадка и производная от нее неравномерность осадки являются нормируемыми параметрами. Отечественные и зарубежные методы по определению деформаций в грунтовом массиве показывают расчетное значение конечной осадки, иногда в несколько раз отличающееся от действительного.

В данной статье предложен уточненный метод расчета осадки фундаментов мелкого заложения, основанный на методе послойного суммирования. Он учитывает разделение эпюры дополнительного внешнего нормального нагружения на составляющие, которые приводят к появлению упругих и упругопластических деформаций, и изменение модуля общей деформации E слоев грунтового основания в зависимости от напряженного состояния.

Для апробации предложенного авторами метода был проведен сопоставительный анализ с полевым испытанием грунтов естественного сложения жесткими штампами при их статическом нагружении.

Для изучения влияния бокового обжатия на деформирование грунтового массива были проведены исследования грунтов в стабилометрах.

Расчет осадки по методу, предложенному авторами, имеет высокую сходимость с экспериментальными результатами и адекватно отражает общую картину деформирования грунтового массива как при нагрузке, так и при разгрузке.

Уточненный метод прогноза осадок отличается тем, что:

- учитывает разделение эпюры от дополнительной внешней нагрузки основания на составляющие, которые приводят к проявлению упругих и упругопластических деформаций;

- используются характеристики деформирования, полученные из приборов трехосного сжатия (стабилометров), а именно учитывается эффект изменения модуля деформации E как функции горизонтального напряжения, что позволяет учесть параметры, адаптированные к конкретным условиям, например, по значению коэффициента переуплотнения OCR, структурной прочности $p_{стр}$ и специфических свойств грунтов;

- с учетом упругопластической природы грунта расчетная эпюра абсолютных и относительных осадок слоев по глубине сжимаемой толщи соответствует реальной картине деформирования основания, что отражает «физичность» метода.

© ПНИПУ

© Пронозин Яков Александрович – доктор технических наук, доцент, e-mail: pronozinja@tyuiu.ru.

Чикишев Виктор Михайлович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: geofond.plus@gmail.com.

Рачков Дмитрий Владимирович – ассистент, e-mail: rachkov1991@yandex.ru.

Iakov A. Pronozin – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: pronozinja@tyuiu.ru.

Viktor M. Chikishev – Doctor of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher, e-mail: geofond.plus@gmail.com.

Dmitrii V. Rachkov – Assistant, e-mail: rachkov1991@yandex.ru.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL VERIFICATION OF THE QUALIFIED METHOD BASED ON LAYER-BY-LAYER SUMMATION TO CALCULATE SETTLEMENTS IN SHALLOW FOUNDATIONS

Ia.A. Pronozin¹, V.M. Chikishev², D.V. Rachkov¹

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

²Geofond Ltd., Tyumen, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 05 July 2017
Accepted: 28 August 2017
Published: 15 December 2017

Keywords:

elastic half-space, sediment, deformation modulus, triaxial compression

ABSTRACT

Calculation of settlement is challenging when designing shallow foundations (SF), since the absolute settlement and the resultant unevenness of settlements are the specified values. The domestic and foreign methods for evaluating deformations in soil body show that the calculated final settlement sometimes differs several times from the actual one.

A number of subjective and objective factors and primarily, the foundation model and soil compressibility characteristics affect the final settlement.

The authors propose a qualified method based on layer-by-layer summation for calculating settlements in shallow foundations. The proposed method takes into account the diagram split into components due to the additional external load acting on the soil bed; this results in elastic and elastic-plastic deformations and the changed overall deformation modulus E of soil layers due to the stress state.

In order to test the proposed method, the authors conducted in-situ tests of statically loaded soils with rigid stamps followed by a comparative analysis.

To study the effect of lateral compression on soil body deformation, the soils were tested in stabilimeters. Depending on the horizontal stresses, the values of deformation modulus for additional pressure in various ranges were obtained.

Calculation of settlement by the proposed method agrees with the experimental results and adequately shows deformation of soil body, both loaded and unloaded.

The qualified method for calculating settlements makes it possible to:

- take into account the diagram split into components due to the additional external load acting on the soil bed; this results in elastic and elastic-plastic deformations;
- use the characteristics of deformation obtained after triaxial compression indicators (stabilimeters), i.e. the effect of the changed deformation modulus E as the horizontal stress function is taken into account; this allows considering the values adapted to specific conditions, e.g. after the value of over-consolidation ratio (OCR), structural strength p_{str} and specific soil properties;
- take into account the elastic-plastic nature of soil; in here, the calculated diagram of absolute and relative settlements of layers across the overall depth of the compressible thickness illustrates the real deformation of soil bed, i.e. “physicality” of the method is shown.

© PNRPU

Расчет осадки является основным при проектировании фундаментов мелкого заложения, так как абсолютная осадка и производная от нее неравномерность осадки являются нормируемыми параметрами, непосредственно определяющими эксплуатационную пригодность зданий и сооружений. Несмотря на множество различных методов по определению деформаций в грунтовом массиве, разработанных отечественными и зарубежными учеными, расчетное значение конечной осадки иногда в несколько раз отличается от действительной [1, 2]. Согласно инженерной практике предварительный расчет ФМЗ может давать значения осадок, превышающие нормативную величину, что заставляет отказываться от более дешевых фундаментов мелкого заложения в пользу свайных или свайно-плитных, при этом на слабых грунтах возможна и обратная ситуация [3, 4].

На конечное значение осадки влияет ряд субъективных и объективных факторов, в первую очередь расчетная модель основания и характеристики сжимаемости грунта. Выбор геомеханической или контактной модели при проектировании фундаментов ложится на плечи инженера. Использование в конкретной задаче той или иной модели грунтового основания позволяет учесть особенности деформирования грунтового массива, однако с присущими каждой модели допущениями [5, 6].

Согласно работам [7–9] большое влияние на достоверное описание деформирования грунтового массива оказывает значение модуля деформации. На настоящий момент существует множество различных методик по определению данной характеристики, результаты которых зачастую могут отличаться в несколько раз.

Согласно источникам [10, 11] на деформируемость грунтового основания значительное влияние оказывает напряженное состояние массива. В работах Г.Г. Болдырева [8], И.К. Аимбетова [12] по испытанию пылевато-глинистых и песчаных грунтов в стабилометрах показано, что модуль деформации грунта практически линейно зависит от боковых (горизонтальных) напряжений. Так, например, для супеси полутвердой с увеличением горизонтальных напряжений от 100 до 300 кПа E увеличился в 2 раза, а модуль деформации мелкого песка – в 3 раза.

Это обстоятельство во многом объясняет «тормозящий» эффект собственного веса грунта на деформирование основания по сравнению с невесомым полупространством, особенно с увеличением значения OCR. Исходя из сказанного, следует заключить, что деформируемость грунта во многом определяется величиной горизонтальных напряжений, являющихся суммой горизонтального бытового давления σ_{xg} и горизонтальной нормальной составляющей напряженного состояния σ_{xp} от внешней нагрузки. Таким образом, модуль деформации в каждой точке грунтового основания является интегральной характеристикой свойств грунта и напряженного состояния и, как следствие, не может быть постоянной величиной даже в условиях одного инженерно-геологического элемента.

На основании вышеизложенного предлагается уточненный метод расчета осадки фундаментов мелкого заложения, в первую очередь плитных, основанный на удобном для инженера методе послойного суммирования, который принят в качестве основного в СП [13]. Предложенный авторами метод учитывает упругопластическую природу деформирования грунтов и имеет следующие особенности [14]:

– разделение эпюры σ_{zp} (рис. 1) на составляющие: σ_{zp}^* приводит к появлению упругих деформаций, σ_{zp}^{**} – упругопластических; составляющая σ_{zp}^* соответствует исходному напряженному состоянию в грунтовом основании и может быть принята равной давлению от собственного веса грунта на данной глубине $\sigma_{zp}^* = \sigma_{zg}$, или его части $\sigma_{zp}^* = k\sigma_{zg}$, или структурной прочности грунта $p_{стр}$, значения которых, в свою очередь, могут быть откорректированы коэффициентом переуплотнения OCR;

– учет изменения модуля общей деформации E слоев грунтового основания с ростом нагрузки в зависимости от напряженного состояния.

Расчет осадки фундамента по уточненному методу (СП*) в котловане глубиной менее 5 м производится по формуле

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

где $\sigma_{zp,i}^{**}$ – составляющая вертикального напряжения, которая приводит к появлению упругопластической деформации грунта в i -м слое, от среднего давления по подошве фундамента; $\sigma_{zp,i}^*$ – составляющая вертикального напряжения, которая приводит к появлению упругой деформации грунта в i -м слое, от среднего давления по подошве фундамента; h_i – толщина i -го слоя; E_i – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения; $E_{e,i}$ – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения.

Рис. 1. Расчетная схема основания для определения осадки фундамента мелкого заложения по предложенному методу (СП*)
Fig. 1. Design diagram of the bed to calculate settlement in a shallow foundation after the proposed method (Building Regulations*)

Определение модуля общей деформации E образцов каждого выделенного инженерно-геологического элемента следует проводить на приборах трехосного сжатия, позволяющих учитывать напряженно-деформированное состояние образцов при различных значениях бокового давления, с разгрузкой и построением зависимости $E = f(\sigma_{xp} + \sigma_{xg})$. Преимущество такого подхода также состоит в том, что нет необходимости напрямую в формуле расчета осадки через безразмерный коэффициент β учитывать коэффициент Пуассона μ , значение которого весьма неоднозначно для грунтов, но который существенно влияет на величину сжимаемости.

В предлагаемом методе особое место занимает вопрос определения бокового давления σ_{xg} и σ_{xp} , которое непосредственно влияет на значение модуля общей деформации E . Значение σ_{xg} при отсутствии надежных данных по OCR принимают, как правило, согласно по-

ложениям гео- или гидростатики, т.е. $\sigma_{xg} = \sigma_{zg} \frac{\mu}{1-\mu}$ и $\sigma_{xp} = \sigma_{zg}$ соответственно. Чаще ис-

пользуют положение геостатики, однако единого мнения на этот счет не существует [14]. Значение σ_{xp} может быть получено из решений теории УПП. Однако необходимо помнить, что в классической постановке коэффициент Пуассона $\mu = 0,5$ для упругого полупространства может значительно отличаться от значения для реальных грунтов. Исходя из общей логики, для оснований, нагруженных фундаментами с плоской подошвой, наиболее целесообразным следует считать определение σ_{xp} из приведенных выше зависимостей.

Для апробации предложенного авторами метода расчета осадки был проведен сопоставительный анализ с полевым исследованием грунтов круглыми жесткими штампами диаметром 1200 мм в полевых условиях при их статическом нагружении.

В основании экспериментальной площадки залегали пылевато-глинистые грунты естественного сложения с физическими и механическими характеристиками, представленными в таблице.

Физико-механические характеристики грунтов экспериментальной площадки

Physical and mechanical characteristics of soils at the experimental site

Номер ИГЭ	Глубина залегания слоя, м		Коэффициент пористости e , д. ед.	Показатель текучести I_L , д. ед.	Удельный вес γ , кН/м ³	Угол внутреннего трения φ , град	Сцеп- ление C , кПа	Расчетный модуль деформации E , МПа	Наиме- нование грунта
	от	до							
1	0,0	1,0	0,79	< 0,0	17,4	15	31	19	Глина
2	1,0	6,0	0,80	0,62	18,5	15	17	8	Суглинок
3	6,0	6,6	0,69	Ср. пл.	19,1	31	2	25	Песок

Предварительно в грунтовый массив для фиксации послойной деформации слоев грунта в центральной и краевой зонах были установлены глубинные марки на расстоянии от $0,25D$ до $2,00D$. Нагрузка на поверхность штампа передавалась через распределительную систему. Создание давления в системе осуществлялось при помощи домкрата.

Для изучения влияния бокового обжатия на деформирование грунтов, залегающих в активной зоне, были проведены исследования на стабилометрических приборах. Для получения зависимостей изменения модуля деформации от величины горизонтального обжатия грунта образцы испытывались при всестороннем давлении 50, 100 и 200 кПа (рис. 2). По результатам испытаний были найдены значения модуля деформации для дополнительного давления в различных диапазонах (рис. 3):

$$E_1 = \operatorname{tg} \alpha_1, \quad E_2 = \operatorname{tg} \alpha_2, \quad E_3 = \operatorname{tg} \alpha_3.$$

Рис. 2. Результаты стабилометрических испытаний ИГЭ № 2 (суглинка мягкопластичного)
Fig. 2. The results of stabilometer tests for EGE № 2 (high-plastic loam)

Рис. 3. Графики зависимости модуля деформации от величины горизонтального обжатия
Fig. 3. Dependency diagrams of the deformation modulus and the value of horizontal squeezing

На основании результатов полевого исследования были получены графики зависимости осадки штампа от вертикального давления (рис. 4).

Как видно из графиков, расчет осадки, согласно методу, предложенному авторами, с использованием зависимостей, полученных по результатам стабилметрических испытаний, имеет в среднем запас в значении 40 % во всем диапазоне нагружения без привязки к фактору времени (при $t \approx 0$). Применение нормативной методики с использованием компрессионного модуля деформации и коэффициента m_k для определения осадки показало сильно заниженное значение конечной осадки в сравнении с экспериментальными данными. Расчет осадки по DIN 4019 с использованием результатов компрессионных испытаний без применения переходных коэффициентов превышает экспериментальные значения на 90–110 %. Принимая во внимания, что в соответствии с исследованием [15] на слабых глинистых водонасыщенных грунтах значения осадок после полного нагружения грунтового массива продолжают прирастать с течением времени ($t \rightarrow \infty$) и превышают в среднем начальные, фиксируемые на момент окончания приложения нагрузки, в среднем на 20–30 %, можно сделать вывод, что значения осадок в пределах расчетного сопротивления R приблизятся к рассчитанным по СП* с расхождением в 5–15 %.

Оценки послойного деформирования грунтового массива по данным натурного исследования и методики, предложенной авторами, показали схожее поведение (рис. 5). Большая часть осадки (около 70 %) формируется в поверхностной зоне до $0,8D$ при глубине сжимаемой толщи, определенной нормам, равной $2,0D$. Графики относительной и абсолютной осадки по уточненному методу и экспериментальным данным, взятым с показаний глубинных марок, по всей толще активной зоны имеют расхождение не более 20 %. Следует отметить, что затухание деформаций по глубине происходит намного раньше, чем это описывает решение по теории УПП и что гораздо лучше соответствует экспериментальным данным [15, 16].

Рис. 4. Графики зависимости осадки штампа от вертикального давления

Fig. 4. Dependency diagrams of the stamp settlement and vertical pressure

Рис. 5. График развития относительных осадок по глубине при $p = 175$ кПа

Fig. 5. Diagram of relative settlements developing across the depth in $p = 175$ kPa

В ходе проведения полевых исследований после статического нагружения поэтапно проводилась разгрузка основания для определения величины упругих деформаций в грунте. Экспериментальное значение упругих деформаций составило 8 мм, что равняется 18 % от общей осадки штампа. Данное значение близко соответствует расчетному значению, равному 15 % (6 мм), что подтверждает «физичность» предложенного метода.

Таким образом, уточненный метод прогноза осадок отличается тем, что:

- учитывает разделение эпюры от дополнительной внешней нагрузки основания на составляющие, которые приводят к проявлению упругих и упругопластических деформаций;
- используются характеристики деформирования, полученные из приборов трехосного сжатия (стабилометров), а именно учитывается эффект изменения модуля деформации E как функции горизонтального напряжения, что позволяет учесть параметры, адаптированные к конкретным условиям, например, по значению коэффициента переуплотнения OCR, структурной прочности $p_{стр}$ и специфических свойств грунтов;
- нет необходимости в определении представленного в СП коэффициента β , который в силу своей неоднозначности может приводить к значительным погрешностям в определении осадки;
- с учетом упругопластической природы грунта расчетная эпюра абсолютных и относительных осадок слоев по всей глубине сжимаемой толщи соответствует реальной картине деформирования основания, что отражает «физичность» метода.

Библиографический список

1. Martin C.M., White D.J. Limit analysis of the undrained bearing capacity of offshore pipelines // *Géotechnique*. – 2012. – Vol. 62, iss. 9. – P. 847–863.
2. Jamiolkowsky M. Behavior of the leaning tower of Pisa during and after stabilization works // *The Ralph B. Peck Lecture*. – Atlanta, 2010.
3. Yun H.-B., Reddi L.N. Nonparametric monitoring for geotechnical structures subject to long-term environmental change // *Advances in Civil Engineering*. – 2011.
4. Тер-Мартirosян З.Г., Пронозин Я.А., Киселев Н.Ю. Ленточные фундаменты мелко-го заложения, объединенные пологими оболочками, на сильносжимаемых грунтах // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 2014. – № 4. – С. 2–6.
5. Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G. The hardening soil model: formulation and verification // *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. – Balkema, Rotterdam, 1999. – P. 281–290.
6. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов: учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 488 с.
7. Дыба В.П., Галашев Ю.В., Осипова О.Н. Уточнение методов расчета осадок фундаментов по данным лотковых и натурных экспериментов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 2011. – № 3. – С. 23–26.
8. Барвашов В.А., Болдырев Г.Г., Уткин М.М. Расчет осадок и кренов сооружений с учетом неопределенности свойств грунтовых оснований // *Геотехника*. – 2016. – № 1. – С. 4–21.
9. Лушников В.В. Оценка характеристик деформируемости элювиальных грунтов по результатам измерений деформаций зданий // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 2011. – № 3. – С. 26–28.
10. Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Мозгачева О.А. Новые способы геотехнического проектирования и строительства. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 224 с.
11. Design, fabrication, and assembly of a large oedometer / Albert M.Y. Ng, Albert T. Yeung, Peter K.K. Lee, L.G. Tham // *Geotechnical Testing Journal*. – 2006. – Vol. 29, iss. 4.
12. Аимбетов И.К. К определению модуля деформации грунтов методом трехосного сжатия для расчетов НДС основания с использованием программы PLAXIS // *Геотехника*. – 2010. – № 1. – С. 62–67.
13. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* / Минрегион России. – М., 2011. – 161 с.

14. Пронозин Я.А., Наумкина Ю.В., Рачков Д.В. Уточненный метод послойного суммирования для определения осадки плитных фундаментов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 3. – С. 82–86.
15. Васенин В.А., Астафьева Е.Д. Учет реологических свойств грунтов при расчете осадок здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 1. – С. 1–21.
16. Методы определения параметров переуплотнения грунтов и их практическое применение в условиях Санкт-Петербурга / А.Н. Труфанов, О.А. Шулятьев, А.В. Ростовцев, Г.У. Габсалимов // Инженерные изыскания. – 2014. – № 11. – С. 32–39.

References

1. Martin C.M., White D.J. Limit analysis of the undrained bearing capacity of offshore pipelines. *Géotechnique*, vol. 62, iss. 9, 2012, pp. 847- 863.
2. Jamiolkowsky M. Behavior of the Leaning Tower of Pisa during and after stabilization works. The Ralph B. Peck Lecture, Atlanta, 2010.
3. Yun H.-B., Reddi L.N. Nonparametric monitoring for geotechnical structures subject to long-term environmental change. *Advances in Civil Engineering*. 2011.
4. Ter-Martirosjan Z.G., Pronozin Ja.A., Kiselev N.Ju. Lentochnye fundamenty melkogo zalozhenija, ob'edinennye pologimi obolochkami, na sil'noszhimaemyh gruntah [Shallow strip foundations incorporated with gently sloping shells constructed on strongly compressible soils]. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*, 2014, no. 4, pp. 2–6.
5. Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G. The Hardening Soil Model: Formulation and verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. Rotterdam, Balkema, 1999, pp. 281-290.
6. Ter-Martirosjan Z.G. *Mehanika gruntov: uchebnoe posobie*. [Soil mechanics: Student Training Manual]. Moscow, Associaciia stroitel'nyh vuzov, 2005, 488 p.
7. Dyba V.P., Galashev Ju.V., Osipova O.N. Utochnenie metodov rascheta osadok fundamentov po dannym lotkovyh i naturnyh jeksperimentov [Qualification of methods for calculating settlements in foundations after in-situ and troughing tests]. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*, 2011, no. 3, pp. 23–26
8. Barvashov V.A., Boldyrev G.G., Utkin M.M. Raschet osadok i krenov sooruzhenij s uchetom neopredelennosti svojstv gruntovyh osnovanij [Calculation of settlements and tilts in structures with regard to uncertainty of soil bed characteristics]. *Geotekhnika*, 2016, no. 1, pp. 4-21.
9. Lushnikov V.V. Ocenka harakteristik deformiruемости jeljuvial'nyh gruntov po rezul'tatam izmerenij deformacij zdaniy [Analysis of deformability characteristics of residual soils after calculating deformations of buildings]. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*, 2011, no. 3, S. 26–28.
10. Petruhin V.P., Shuljat'ev O.A., Mozgacheva O.A. Novye sposoby geotekhnicheskogo proektirovaniya i stroitel'stva [New methods in geotechnical design and construction]. Moscow, Associaciia stroitel'nyh vuzov, 2015, 224 p.
11. Albert M.Y.Ng, Albert T. Yeung, Peter K. K. Lee, L. G. Tham. Design, fabrication, and assembly of a large oedometer. *Geotechnical Testing Journal*, 2006, vol. 29, iss. 4.
12. Aimbetov I.K. K opredeleniju modulja deformacii gruntov metodom trehsnogo szhatija dlja raschetov NDS osnovaniya s ispol'zovaniem programmy PLAXIS [Calculation of soil deformation modulus by means of triaxial compression to analyze stress-strain state of soil bed applying PLAXIS software]. *Geotekhnika*, 2010, no. 1, pp. 62–67.

13. SP 22.13330.2011 Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.02.01-83* [Building Regulations 22.13330.2011 Bases of buildings and structures. Revised edition of SNiP -2.02.01-83*]. Minregion Rossii. MOSCOW, OAO "CPP", 2011. 161 s.

14. Pronozin Ja.A., Naumkina Ju.V., Rachkov D.V. Utochnennyj metod poslojnogo summirovaniya dlja opredeleniya osadki plitnyh fundamentov [Qualified method of layer-by-layer summation to calculate settlement in slab foundations]. *Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN*, 2015, no. 3, pp. 82-86.

15. Vasenin V.A., Astaf'eva E.D. Uchet reologicheskikh svojstv gruntov pri raschete osadok zdaniya [Rheological soil properties in calculating settlements of buildings]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*, 2012, no.1, pp.1-21.

16. Trufanov A.N., Shuljat'ev O.A., Rostovcev A.V., Gabsaljamov G.U. Metody opredeleniya parametrov pereuplotneniya gruntov i ih prakticheskoe primenenie v uslovijah Sankt-Peterburga [Methods of evaluating parameters of soil overconsolidation and their applicability in Saint-Petersburg]. *Inzhenernye izyskanija*, 2014, no. 11, pp. 32-39.