

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2025.27.24.072

Экономическая эффективность использования программного обеспечения при расчете оснований свайных фундаментов

Преснов Олег Михайлович

Кандидат технических наук, доцент,
Сибирский Федеральный Университет,
660041, Российская Федерация, Красноярск, просп. Свободный, 79;
e-mail: presn955@mail.ru

Фалейчик Дмитрий Владиславович

Студент,
Сибирский Федеральный Университет,
660041, Российская Федерация, Красноярск, просп. Свободный, 79;
e-mail: f_reg03@mail.ru

Ведерникова Елена Максимовна

Студент,
Сибирский Федеральный Университет,
660041, Российская Федерация, Красноярск, просп. Свободный, 79;
e-mail: genagnomik@yandex.ru

Слесарев Иван Геннадьевич

Студент,
Сибирский Федеральный Университет,
660041, Российская Федерация, Красноярск, просп. Свободный, 79;
e-mail: vanya06032003@gmail.com

Аннотация

В данной работе выполнен сравнительный анализ результатов расчета осадки основания свайно-плитного фундамента в двух современных программных комплексах ЛИРА 10 и SCAD Office. Цель данного сравнения заключалась в выявлении наиболее эффективных методик расчёта нестандартных и ответственных типов конструкций при их опирании на слабые грунты. В рамках проведенных вычислений применены соответствующие модули «ГРУНТ» и «КРОСС» исследуемых программ. Установлено, что оба программных продукта подходят для выполнения нелинейных вычислений грунтовых массивов методом конечных элементов. При этом, ЛИРА 10 позволяет получить более точные и наглядные результаты и является перспективным продуктом для реализации рентабельных решений при строительстве в сложных инженерно-геологических и рельефных условиях.

Для цитирования в научных исследованиях

Преснов О.М., Фалейчик Д.В., Ведерникова Е.М., Слесарев И.Г. Экономическая эффективность использования программного обеспечения при расчете оснований свайных фундаментов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 1А. С. DOI: 10.34670/AR.2025.27.24.072

Ключевые слова

Основания, свайный фундамент, метод конечных элементов, граничные условия, численные методы, осадка основания, SCAD Office, Лира 10, коэффициент постели.

Введение

В настоящее время одной из важнейших задач строительства является разработка эффективных, надёжных и конкурентоспособных проектных решений для всех видов зданий и сооружений [Мирсаяпов, Шарафутдинов, 2017]. Существующие методы расчёта свайных фундаментов, представленные в [СП 24.13330.2021; СП 22.13330.2016], подходят для большинства стандартных ситуаций, однако с учетом развития уникального строительства, а также застройки территорий со сложными инженерно-геологическими и рельефными условиями их часто оказывается недостаточно для принятия точного конструкторского решения. Это связано с тем, что данные подходы предполагают расчёт осадки основания, основываясь на расчёте по первой группе предельных состояний, учитывая условия, при которых система «грунтовый массив-фундамент» теряет способность противостоять воздействиям извне и прекращает удовлетворять требованиям эксплуатации [Liu et al., 2019; Тер-Мартirosян и др., 2021]. Для нестандартных и ответственных типов конструкций, под остриём свайного фундамента которых находится слабый грунт и расчёт по первой группе предельных состояний для которых невозможен, и, при этом, экономическая целесообразность применения более длинных свай минимальна, например, в связи с удалённостью площадки строительства или её сложным расположением, необходимо применять современные методы расчёта свайных фундаментов, которые обеспечивают высокую точность и учет всех особенностей проекта [Li et al., 2021]. Одним из них является метод конечных элементов, который считается наиболее мощным и универсальным. Его принцип заключается в том, что конструкция и окружающая её среда разбивается на множество мелких (конечных) элементов, каждый из которых взаимодействует с соседними элементами согласно законам механики сплошных сред. Это позволяет моделировать сложные геометрические формы, разнородные материалы и разнообразные граничные условия.

Кроме того, данный метод позволяет учитывать расчётное сопротивление подошвы ростверка свайного фундамента, тем самым, приводя к экономии на материалах подземной части сооружения, при неизменной её надёжности, чего нельзя добиться, используя вышеописанные методы [Лукьянов, 2018].

В современных работах большинство исследователей используют иностранные программные комплексы, такие как Plaxis 3D, ANSYS, ABAQUS, MIDAS Civil; в связи с чем отмечен дефицит исследований, посвященных отечественным программным пакетам.

Целью данной работы является сравнительный анализ результатов расчёта осадок основания свайных фундаментов в заданных инженерно-геологических условиях используя программные комплексы SCAD Office и ЛИРА 10 при ступенчатой нагрузке, имитирующей

работу подземной конструкции в процессе строительства. Это сравнение позволит наглядно проиллюстрировать преимущества моделей, заложенных в каждую из программных платформ, а также рассмотреть динамику взаимодействия подземной конструкции с грунтовым основанием [Нуждин, Михайлов, 2018; Мангушев и др., 2010].

Материалы и методы

В современных программных комплексах расчет производится по моделям, базой для которых является модель грунта в трехмерном пространстве, используемая в качестве исходных данных и взятая с учетом исследований геологических характеристик грунта [Барвашов, 1968]. В расчётной практике моделирование основания производят с помощью таких методов, как использование коэффициентов жесткости упругого основания (коэффициентов Винклера, коэффициентов постели) C_1 и C_2 , а также моделирование грунтового массива через объемные конечные элементы (КЭ). Комбинация данных подходов даёт наиболее точные результаты и позволяет создавать нелинейную модель работы почвы [СП 50-102-2003].

Расчёты в двух программных комплексах проведены для основания, представленного пылеватым песком, имитирующим слабый дисперсный грунт. Он обладает следующими характеристиками: модулем деформации $E=21,05$ МПа, удельным весом $\gamma=17,50$ кН/м³, коэффициентом пористости $e=0,54$, углом внутреннего трения $\varphi=31^\circ$ и коэффициентом Пуассона $\mu=0,3$.

В качестве расчётной модели принят свайный куст из четырёх свай сечением 300x300 мм, длиной $H=5$ м из бетона В20, согласно [ГОСТ 19804-2021].

Расстояние от осей свай до конца грунтового массива принималось равным $5d$ (где $d = 300$ мм – сторона поперечного сечения свай), а отметка низа основания задавалось на глубине $6d$ от нижних концов свай.

Для расчёта в программных комплексах принята точечная нагрузка, приходящаяся на ростверк от опоры, которую увеличивали ступенчато с шагом 240 кН и довели до 2400 кН; при этом конечная ступень загрузки для каждой из четырёх свай оказалась равна 600 кН. Расчет производился моделированием пластинчатых конечных элементов.

Сначала был произведен расчет в программном комплексе SCAD Office. Для его выполнения грунтовое пространство вокруг свай было задано треугольными конечными элементами с шагом 0,5 м. Конструирование свай производилось параметрическими объектами, разработанным из модели универсального стержня. После назначения жесткостей, нагрузок и характеристик свайного куста была получена расчетная схема, которая была передана в программное обеспечение «КРОСС». Данный модуль позволил подобрать винклеровский коэффициент постели массиву конечных элементов грунтового основания.

В процессе расчета задавалось конечно-жесткое закрепление свай в грунте, для обеспечения геометрической неизменяемости расчетной схемы. Полученные расчетно-графические данные в программе были перенесены в модуль «КРОСС». Данный компонент позволяет не учитывать второй коэффициент постели при назначении напряженно-деформированной основы, так как первый коэффициент Винклера был посчитан с учетом осадки, учитывающей способности распределения основания [Егорова и др., 2016]. Полученные значения осадок в программном комплексе SCAD Office представлены в табл. 1.

После этого по схожей схеме был произведён расчет осадки свайного куста в программном комплексе ЛИРА 10 и его модуле «ГРУНТ». Для этого была создана расчетная схема свайного

куста с требуемыми размерами и жесткостью (рис. 1). Моделирование свай было произведено вертикальными стержневыми элементами, соединёнными в цепочку с использованием одноузлового конечного элемента типа 57. Грунтовый массив был задан конечными элементами с аналогичным шагом. Полученная модель (рис. 2) оказалась более точной, в связи с возможностью задания в данном программном продукте подробного перечня физико-механических характеристик основания.

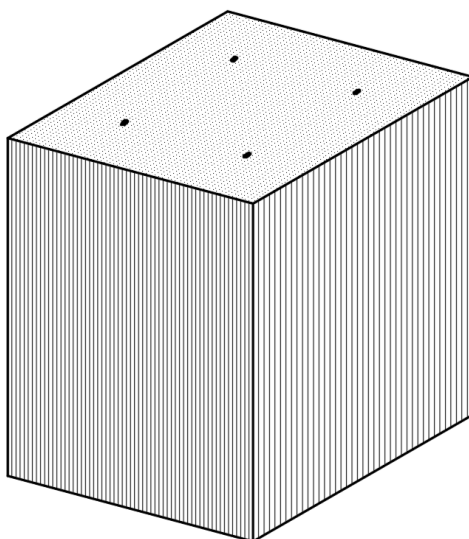


Рисунок 1 - Расположение конечных элементов, моделирующих свайный куст

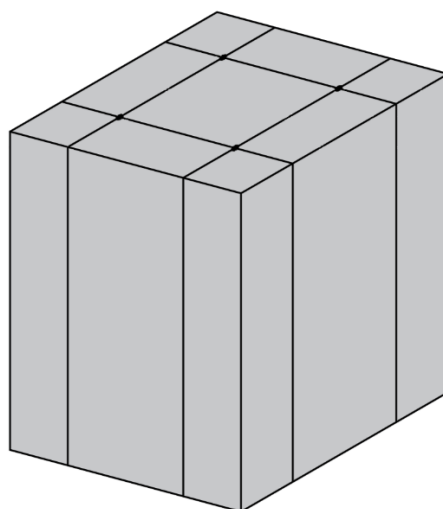


Рисунок 2 - Замоделированная конечно-элементная модель грунта в ПК ЛИРА10

Необходимо отметить, что свойства грунтового основания были заданы без повышающих коэффициентов, во избежание завышения результатов осадки. В процессе расчёта характеристики постели выводились как для одиночной сваи по боковой поверхности, где коэффициент пропорциональности умножается на понижающий коэффициент [ГОСТ 5686-2012]. Результаты расчёта в программном комплексе ЛИРА 10 сведены в табл. 1, а также представлены в качестве изополей распределения перемещений грунта, от свайного куста на рис. 3.

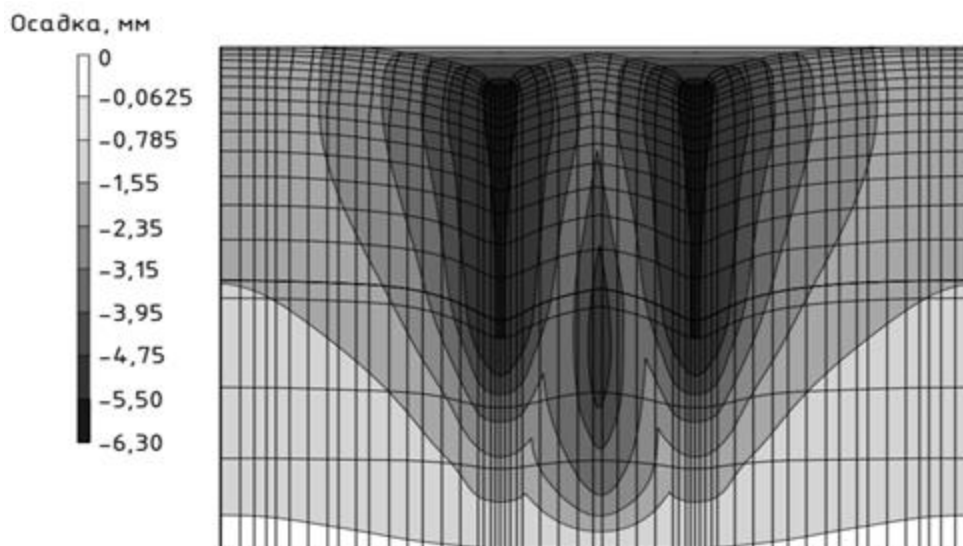


Рисунок 3 - Изополя перемещений грунта (мм)

Анализ полученных результатов

Сравнительные результаты расчёта осадки основания свайного куста, в зависимости от ступени нагрузки, приходящейся на одну сваю для двух программных комплексов представлены в табл. 1. Рис. 4 иллюстрирует сводные графики вычисления осадки в данных программах.

Таблица 1. Сводные результаты расчёта осадки основания свайного фундамента

Ступень нагрузки, кН	Осадка, мм		Δ, %
	По результатам расчета в ПК SCAD	По результатам расчета в ПК ЛИРА 10	
0,0	0,00	0,00	0
60,0	0,52	0,53	1,89
120,0	1,03	1,07	3,74
180,0	1,52	1,57	3,18
240,0	1,87	1,93	3,11
300,0	2,27	2,35	3,40
360,0	2,66	2,73	2,56
420,0	3,12	3,07	1,61
480,0	3,83	3,73	2,61
540,0	4,73	4,38	7,40
600,0	5,46	5,38	1,47

Аппроксимация кривых на графике (рис. 4) показывает, что осадка, рассчитанная в обоих программных комплексах, SCAD Office и ЛИРА 10, изменяется по линейному закону. Уравнения прямой аппроксимации $y = 0,0082x - 0,0273$ (коэффициент детерминации $R^2 = 0,9827$) и $y = 0,0086x - 0,1141$ (коэффициент детерминации $R^2 = 0,9804$) для кривых осадок ПК ЛИРА 10 и ПК SCAD, соответственно.

По результатам расчётов видно, что осадка в двух сравниваемых программных продуктах

примерно одинаковая. Максимальное расхождение в значениях осадки, при рассмотрении каждой ступени загрузки составляет 3,74%, для конечной осадки эта величина равна 1,47% что входит в рамки допустимого отклонения. Кроме того, проведенное исследование позволило прийти к выводу, что в анализируемых программных комплексах системы «КРОСС» (SCAD Office) и «ГРУНТ» (ЛИРА 10) подходят для выполнения нелинейных вычислений грунтовых массивов объемными конечными элементами и позволяют детально рассмотреть учет взаимодействия свайного фундамента с грунтовым основанием с помощью изополей их совместного перемещения.

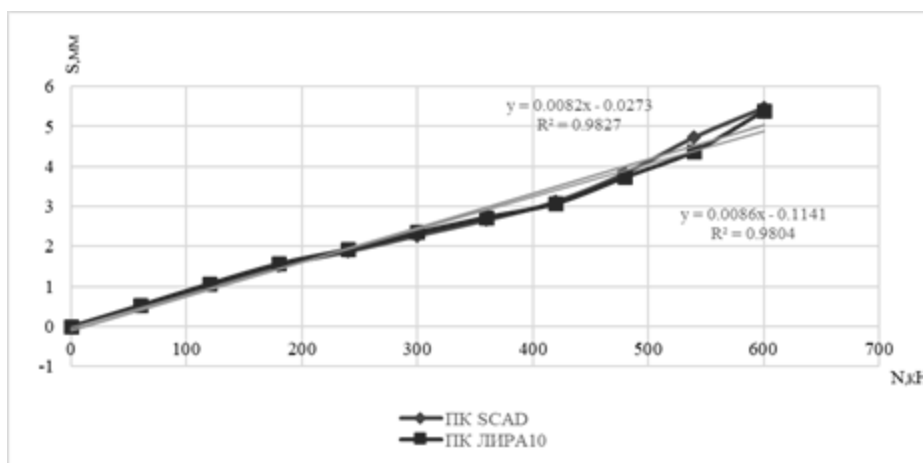


Рисунок 4 - Сравнительные результаты вычисления осадки свайного куста

Анализ изополей перемещений грунта выявляет наличие кустового эффекта, проявляющегося в увеличении значения осадки основания в плоскости нижних концов свай, относительно значения показателя осадки для одиночной сваи. Данное явление зависит от площади загрузки и расстояния между сваями в кусте и в настоящем расчётном случае проявляется минимально, в связи с принятым шагом осей свай больше предельного [15]. Кроме того, уменьшение осадки основания вызвано учетом расчётного сопротивления ростверка, снижающего влияние кустового эффекта.

Заключение

Несмотря на то, что оба программных продукта показали примерно одинаковые результаты, в процессе решения поставленной задачи было выявлено, что ПК ЛИРА 10 позволяет более точно и наглядно выполнить расчёт, в связи с возможностью задания в данном программном продукте более широкого перечня грунтовых характеристик. Данный программный продукт целесообразно использовать с точки зрения перспектив развития методов расчёта осадок свайных фундаментов на этапе проектирования, так как в нем заложено большое количество параметров для моделирования характеристик грунта. Также в процессе решения поставленной задачи было выявлено, что на выбор модели грунта влияют его геофизические параметры, условия нагружения и особенности производства работ на строительной площадке, в связи с чем целесообразно подходить к расчёту конструкций комплексно, и при этом рассматривать каждый конкретный расчётный случай отдельно и производить моделирование грунта индивидуально под него.

Результаты данной работы могут быть использованы для повышения точности расчётов осадки оснований свайных фундаментов, более точному предсказанию динамики их поведения, и, соответственно, снижению рисков и неопределённости при проектировании. Кроме того, более точные расчёты приведут к применению экономичных и рентабельных решений, что позволит осуществлять строительство на территориях, ранее признававшихся невыгодными для возведения зданий.

Библиография

1. Мирсаяпов, И.Т Несущая способность и осадки грунтового основания армированного вертикальными и горизонтальными элементами / И.Т. Мирсаяпов, Р.А. Шарафутдинов // Инженерно-геотехнические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. – СПб 2017. – С. 169–174.
2. СП 24.13330.2021 Свайные фундаменты. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2021.
3. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2016.
4. Vertically-loaded single floating pile in layered soils by thin annulus element method / Q.-J. Liu, J.-B. Wang, J.-J. Ma, W.-H. Gao // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. – 2019. – Vol. 41, iss. 4. – P. 748–754. DOI: 10.11779/CJGE201904019
5. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Ермошина Л.Ю. Осадка и длительная несущая способность свай // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 9. – С. 18–23. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.18-23
6. Li, X.-M., Zhang, Q.-Q., Liu, S.-W. Semianalytical solution for long-term settlement of a single pile embedded in fractional derivative viscoelastic soils // International Journal of Geomechanics. – 2021. – Vol. 21, iss. 2. – С. 1-12. – Article No. 0001906. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001906.
7. Лукьянов А.И. Выбор оптимального метода и ПК для расчета комбинированного свайно-плитного фундамента / Международный студенческий строительный форум 2018 (к 165- летию со дня рождения В.Г. Шухова) // Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. С.118–123
8. Нуждин Л.В., Михайлов В.С. Численное моделирование свайных фундаментов в расчетно-аналитическом комплексе SCAD Office // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1. – С. 5–18. DOI: 10.15593/2224–9826/2018.1.01
9. Мангушев Р.А., Сахаров И.И. [и др.] Сравнительный анализ численного моделирования системы «здание-фундамент-основание» в программных комплексах SCAD и PLAXIS // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3. С. 96–101.
10. Барвашов, В.А. Метод расчёта жёсткого свайного ростверка с учетом взаимного влияния свай / В.А. Барвашов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1968. – № 3. – С. 15-22.
11. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов. – М.: Госстрой России, 2004.
12. ГОСТ 19804-2021. Сваи железобетонные заводского изготовления. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2021.
13. Егорова Е.С., Иоскевич В.В., Агишев К.Н., Кожевников В.Ю. Модели грунтов, реализованные в программных комплексах SCAD Office и Plaxis 3D // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №3 (42). С. 31–60.
14. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. – М.: Стандартинформ, 2012.
15. Егоров, К.Е., Попов, Б.П., Кузьмин, И.Г. Фактические осадки высотных зданий и сравнение их с расчетными // Материалы к IV Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению / Академия наук СССР. – М., 1957. – С. 1-10.

Economic Efficiency of Software Applications in Pile Foundation Design

Oleg M. Presnov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Siberian Federal University,
660041, 79 Svobodny ave., Krasnoyarsk, Russian Federation;
e-mail: presn955@mail.ru

Dmitrii V. Faleichik

Student,
Siberian Federal University,
660041, 79 Svobodny ave., Krasnoyarsk, Russian Federation;
e-mail: f_reg03@mail.ru

Elena M. Vedernikova

Student,
Siberian Federal University,
660041, 79 Svobodny ave., Krasnoyarsk, Russian Federation;
e-mail: genagnomik@yandex.ru

Ivan G. Slesarev

Student,
Siberian Federal University,
660041, 79 Svobodny ave., Krasnoyarsk, Russian Federation;
e-mail: vanya06032003@gmail.com

Abstract

This study presents a comparative analysis of settlement calculations for piled raft foundations conducted in two modern software systems - LIRA 10 and SCAD Office. The research aimed to identify the most effective computational methods for non-standard and critical structures supported by weak soils. The investigation utilized specialized modules ("GRUNT" and "CROSS") within both software packages. Results demonstrate that both programs are suitable for nonlinear finite element analysis of soil masses. However, LIRA 10 provides more accurate and visually interpretable results, proving to be a promising solution for cost-effective construction in challenging geotechnical and topographic conditions. The findings highlight LIRA 10's superior capabilities in delivering precise engineering solutions while maintaining computational efficiency.

For citation

Presnov, O.M., Faleichik, D.V., Vedernikova, E.M., Slesarev, I.G. (2025). Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya programmnoho obespecheniya pri raschete osnovanii svainykh fundamentov [Economic efficiency of software applications in pile foundation design]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 15 (1A), pp. DOI: 10.34670/AR.2025.27.24.072

Keywords

Foundation engineering, pile foundations, finite element method, boundary conditions, numerical methods, foundation settlement, SCAD Office, LIRA 10, subgrade reaction coefficient.

References

1. Mirsayapov, I.T., Sharafutdinov, R.A. Bearing capacity and settlement of soil foundations reinforced with vertical and horizontal elements. In: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference on Engineering and

Presnov, O.M., Faleichik, D.V., Vedernikova, E.M., Slesarev, I.G.

-
- Geotechnical Surveys, Design and Construction of Foundations, Underground Structures. St. Petersburg, 2017, pp. 169–174.
2. SP 24.13330.2021 Pile foundations. – M.: N.M. Gersevanov National Research Institute, 2021.
 3. SP 22.13330.2016 Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij. – M.: N.M. Gersevanov National Research Institute, 2021.
 4. Liu Q.-J., Wang J.-B., Ma J.-J., Gao W.-H. Vertically-loaded single floating pile in layered soils by thin annulus element method. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019, vol. 41, iss. 4, pp. 748-754. DOI: 10.11779/CJGE201904019.
 5. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Ermoshina L.Yu. Settlement and long-term bearing capacity of the pile. Industrial and civil engineering, 2021, no. 9, pp. 18-23. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.18-23.
 6. Li, X.-M., Zhang, Q.-Q., Liu, S.-W. Semianalytical solution for long-term settlement of a single pile embedded in fractional derivative viscoelastic soils // International Journal of Geomechanics. – 2021. – Vol. 21, iss. 2. – Pp. 1-12. – Article No. 0001906. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001906.
 7. Lukyanov A.I. A method of and PC for the calculation of the combined pile-slab Foundation. International student building forum 2018 (to the 165th anniversary since the birth of Vladimir Shukhov). Belgorod: Publishing house BGTU named after V.G. Shukhov. 2018. Pp. 118–123. (rus).
 8. Nuzhdin L.V., Mikhaylov V.S. Numerical modeling of pile foundations in the structural analysis software SCAD Office. Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture, 2018, no. 1, pp. 5–18. In Rus. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.01
 9. Mangushev R.A., Sakharov I.I. [et al.] Comparative analysis of numerical modeling of the building-Foundation-Foundation system in the SCAD and PLAXIS software systems. Bulletin of civil engineers. 2010. No. 3. Pp. 96–101. (rus).
 10. Barvashov V.A. A method for calculating a rigid pile grillage, taking into account the mutual influence of piles / V.A. Barvashov // Foundations, foundations and soil mechanics. – 1968. – №3. – Pp. 15-22.
 11. SP 50-102-2003 Design and construction of pile foundations. – M.: State Committee for Construction, 2004.
 12. GOST 19804-2021. Reinforced concrete piles of factory production. General technical conditions. – Moscow: Standartinform, 2021.
 13. Egorova E.S., Ioskevich A.V., Ioskevich V.V., Agishev K.N., Kozhevnikov V.Yu. Soil model implemented in the software packages SCAD Office and Plaxis 3D. Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. 3 (42). Pp. 31–60. (rus).
 14. GOST 5686-2012. Soils. Methods for field testing with piles. – Moscow: Standartinform, 2012.
 15. Egorov K.E., Popov B.P., Kuzmin I.G. Actual settlements of tall buildings and their comparison with the calculated. Materials for the IV International Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1957. – Pp. 1-10.
-