

Особенности строительства фундаментов высотных зданий на крутых склонах в районах с высокой сейсмичностью

УДК 624.154

Мариничев Максим Борисович

Канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (г. Краснодар), член РОМГиФ; e-mail: marinichev@list.ru

Ткачев Игорь Геннадьевич

Аспирант кафедры «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (г. Краснодар); e-mail: igortkachev001@mail.ru

Статья получена: 30.12.2018. Рассмотрена: 09.01.2019. Одобрена: 15.01.2019. Опубликовано онлайн: 26.03.2019. ©РИОР

Аннотация. В статье приведен пример использования свайно-плитного фундамента с промежуточной подушкой для реализации высотного здания на оползнеопасном склоне в сейсмическом районе.

Ключевые слова: свайно-плитный фундамент, промежуточная подушка, сейсмичность, склон, высотное здание, вертикально армированное основание, глубокий котлован, нестандартное решение фундамента.

Строительство высотных зданий на крутых склонах является сложной задачей в связи с наличием ряда технических и технологических особенностей их возведения. Зачастую проектирование не может обойтись без применения нетрадиционных решений фундаментов и надземных частей здания, а также современных методов по устройству глубоких котлованов [3–4; 8; 11–15].

В настоящей статье приведен опыт проектирования высотного здания в г. Сочи с нетрадиционным решением фундаментов, позволивший выровнять неравномерную сжимаемость

основания в плане и по глубине геологического разреза в связи с крутопадающими напластованиями инженерно-геологических элементов (рис. 2–5).



Рис. 1. Участки с высотными зданиями, расположенными на крутых склонах

Краснодарский край и его Черноморское побережье являются одними из наиболее привлекательных регионов России с современной курортной инфраструктурой. Такие факторы, как крутой рельеф, оползневая и селевая активность, неравномерное распространение слабых грунтов в плане и по глубине, заставляют принимать нестандартные решения при проектировании фундаментов высотных зданий.

SOME FEATURES OF FOUNDATION STAGE IN CONSTRUCTION PROCESS OF HIGH-RISE BUILDINGS LOCATED ON STEEP SLOPES IN AREAS WITH HIGH SEISMICITY

Maxim Marinichev

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department of “Bases and Foundations”, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar; e-mail: marinichev@list.ru;

Igor Tkachev

Doctoral Student of the Department of “Bases and Foundations”, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar; e-mail: igortkachev001@mail.ru

Manuscript received: 30.12.2018. **Revised:** 09.01.2019. **Accepted:** 15.01.2019. **Published online:** 26.03.2019. ©RIOR

Abstract. The article performs example of practical implementation of raft-pile foundation with an intermediate layer as a foundation for high-rise building located on a steep slope in a seismic region.

Keywords: raft-pile foundation, intermediate layer, seismicity, slope, high-rise building, vertically reinforced foundation, deep excavation, non-standard foundation solution.



Рис. 2. Участок строительства высотного здания на крутом склоне



Рис. 3. Общий вид и поперечный разрез высотного здания в г. Сочи

Проектируемое здание — 24–25-этажное (высота здания ~108,0 м), с двумя подземными этажами. Форма подземной части здания в плане близка к прямоугольной с размерами ~95 × 50 м. За относительную отметку 0,00 принята абсолютная отметка 74,7 м. Глубина заложения подошвы плиты переменная — 7,5–18,4 м. Отметка подошвы плиты — 7,95 м (абс. отм. 66,75 м), сейсмичность площадки строительства 9 баллов.

В геоморфологическом отношении участок строительства приурочен к средней части приморского склона юго-западной экспозиции горы Бытха. Площадка строительства расположена на склоне горы Бытха и характеризуется резким перепадом рельефа поперек буквенных осей проектируемого здания. Участок строительства расположен в верхней части крупного древнего оползня, зарегистрированного в кадастре Северо-Кавказского геоэкологического

центра под № 1713, характеризующийся как стабилизировавшийся.

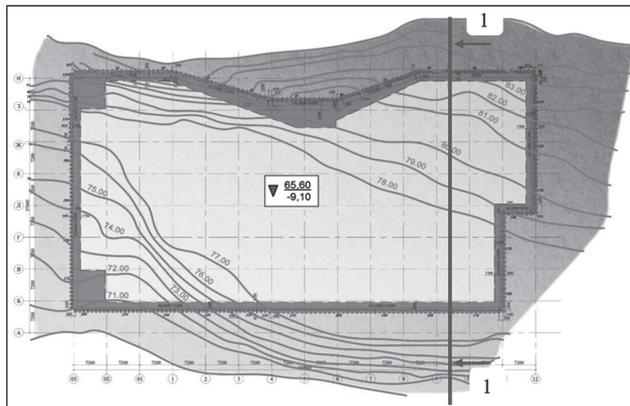


Рис. 4. Схема совмещения фундаментов с естественным рельефом участка

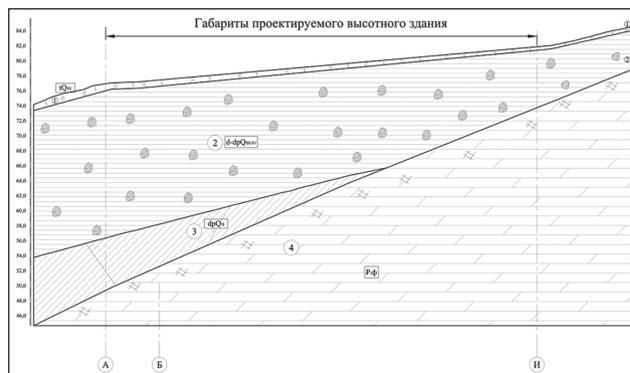


Рис. 5. Инженерно-геологический разрез по линии 1-1 (см. рис. 4)

Геологическое строение, согласно инженерно-геологическим изысканиям, изучено до глубины 30 м и представлено следующими грунтами (сверху вниз):

- насыпные грунты (tQ_{IV}) [ИГЭ-1] неоднородные, крупнообломочный, слежавшийся грунт с глинистым полутвердым заполнением. Толщина — 0,9–3,5 м;
- нерасчлененные верхнечетвертичные и современные делювиально-оползневые образования ($d-dpQ_{II}$) [ИГЭ-2] представлены глиной песчанистой, полутвердой, слабо-набухающей с включениями щебня и глыб выветрелых осадочных пород (до 25%). Толщина — 4,0–17,0 м;
- древнеоползневые образования среднеплейстоценового возраста (dpQ_{II}) [ИГЭ-3] представлены смещенными блоками аргиллитов, алевролитов и песчаников, выветрелых до

состояния суглинков полутвердых, слабо-набухающих, щебнистых. Толщина — 1,0–10,2 м;

- коренные породы среднего палеогена ($P_2\phi$) [ИГЭ-4] представлены мергелями малопрочными, плотными, размягчаемыми, нерастворимыми. Падение пластов коренных пород юго-западное под углом 15–18°. Наибольшая вскрытая толщина — 20,5 м.

Подземные воды на участке строительства встречены при проходке древнеоползневых отложений [ИГЭ-3]. К современным и делювиально-оползневым отложениям приурочены подземные воды типа «верховодка». Основные нормативные и расчетные характеристики физико-механических свойств грунтов приведены в табл. 1.

Разработанное проектное решение глубокого котлована [18] предусматривало возведение свайно-анкерного ограждения из буронабивных свай $d800$ мм и $d600$ мм, которые по высоте раскреплялись 2–4 ярусами инъекционных анкеров (рис. 6). Сваи выполнялись с поверхности естественного рельефа. Длина свай $d800$ мм — 20,0–26,0 м; $d600$ мм — 16,0–18,0 м. Сваи изготавливались из бетона класса В25 и армировались пространственными каркасами из арматурных стержней $d36$ мм. Для обоснования принятых решений проводились геотехнические расчеты в ПК *PLAXIS*. Наиболее опасные расчетные сечения, их техническое решение замаркированы и показаны на рис. 6, 7, 9. Деформированные схемы на последней стадии расчета для каждого сечения показаны на рис. 8, 10.

Таблица 1

Основные нормативные и расчетные характеристики физико-механических свойств грунтов

Номер ИГЭ	1	2	3	4
Разновидность грунта по ГОСТ 25100-95	Насыпной слежавшийся неоднородный крупнообломочный грунт с глинистым полутвердым заполнителем и включением строительного мусора	Глина легкая песчаная полутвердая слабонабухающая с включением щебня и глыб выветрелых осадочных пород (до 25%)	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый ненабухающий непродачный щебенистый	Мергель малопрочный плотный размягчаемый нерастворимый
Плотность грунта природной влажности, т/м ³	ρ_n	1,95	2,05	2,10
	ρ_1		2,02	2,06
	ρ_{II}		2,03	2,07
Коэффициент пористости	e		0,642	0,530
Показатель текучести	I_L		0,17	0,03
Степень влажности	S_r		0,98	0,93
Удельное сцепление, кПа	C_n		56/22*/80**	70/19*/58**
	C_1		34/9*	60/9*
	C_{II}		43/13*	64/11*
Угол внутреннего трения, град	φ_n		12/10*/14**	14/13*/15**
	φ_1		8/6*	5/7*
	φ_{II}		9/7*	8/9*
Модуль деформации при водонасыщении, МПа	E_o		17	16
Предел прочности на одноосное сжатие при естественной влажности, МПа	R_c			14,7
Предел прочности на одноосное сжатие при водонасыщении, МПа	$R_{c(вод)}$			10,1
Коэффициент размягчаемости				0,50

Примечание:

- 1) значения прочностных характеристик без знака* — по схеме ускоренного сдвига при естественной влажности;
- 2) значения со знаком* — по схеме повторного сдвига по подготовленной смоченной поверхности;
- 3) значения со знаком** — по схеме консолидированного сдвига с предварит. уплотнением под водой.

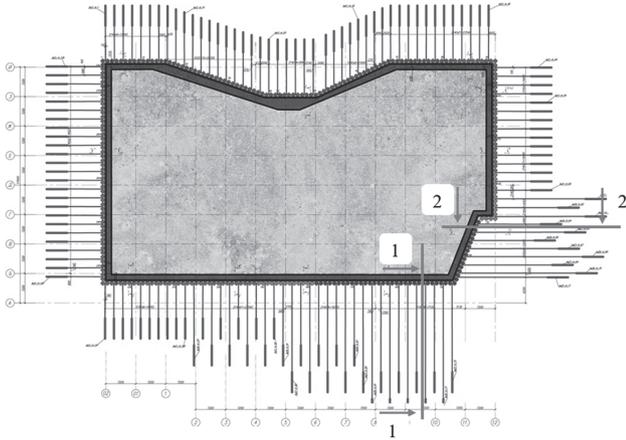


Рис. 6. Схема расположения решений ограждения глубокого котлована

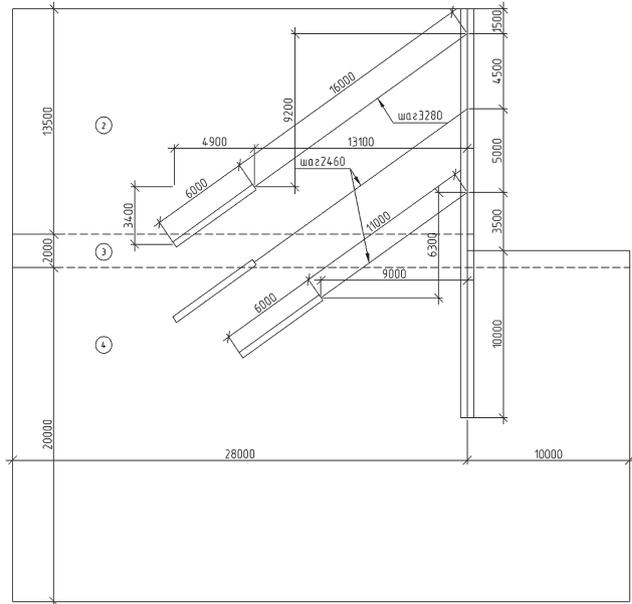


Рис. 9. Расчетное сечение 2-2

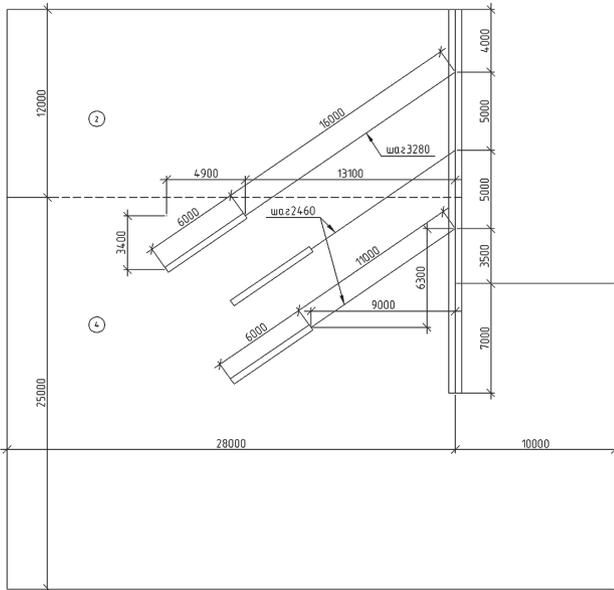
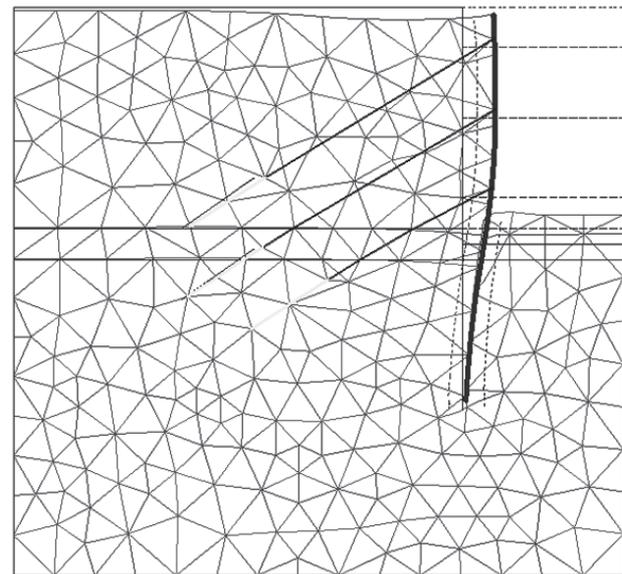
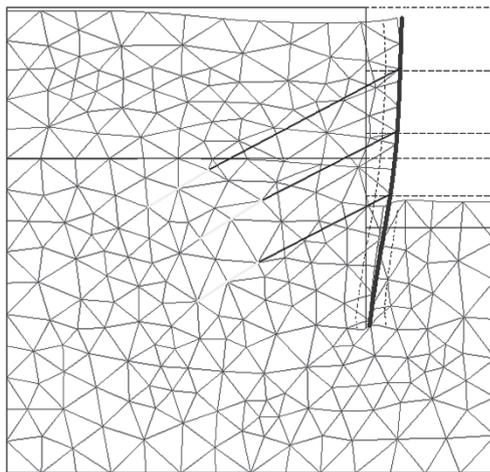


Рис. 7. Расчетное сечение 1-1



Deformed Mesh
Extreme total displacement $108.35 \cdot 10^{-2}$ m
(displacements scaled up 20.00 times)

Рис. 10. Деформированная схема расчетного сечения 2-2



Deformed Mesh
Extreme total displacement $143.54 \cdot 10^{-2}$ m
(displacements scaled up 20.00 times)

Рис. 8. Деформированная схема расчетного сечения 1-1

Таблица 2

Расчетные усилия в грунтовых анкерах в сечении 1-1

Номер яруса анкера	Усилие в анкере на 1 м.п., кН	Шаг анкеров, м	Усилие в анкере, кН
1	144,6	3,28	474
2	139,8	2,46	344
3	69,9	2,46	172

Таблица 3

Расчетные усилия в грунтовых анкерах в сечении 2-2

Номер яруса анкера	Усилие в анкере на 1 м.п., кН	Шаг анкеров, м	Усилие в анкере, кН
1	122	3,28	400
2	118	2,46	290
3	61	2,46	150

В результате проведенных расчетов удалось определить расчетные усилия в элементах системы, по которым назначался их шаг и габаритные размеры. В табл. 2–3 показаны расчетные и проектные значения усилий в грунтовых анкерах с учетом шага их расстановки, которые были подтверждены натурными испытаниями с применением соответствующих коэффициентов запаса.

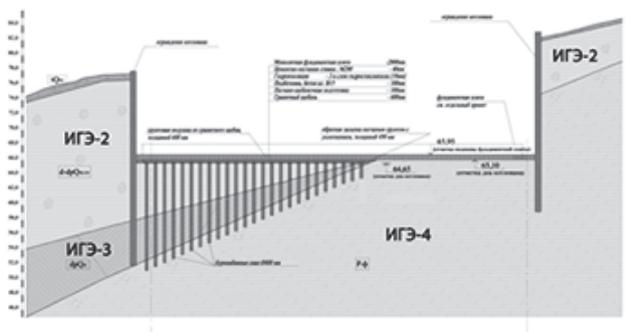


Рис. 11. Инженерно-геологические условия строительства высотного здания

После обоснования конструкции глубокого котлована был проведен поиск эффективного решения фундамента высотного здания. Как видно из рис. 11, участок строительства высотного здания расположен на крутом склоне. Данное здание предусматривает развитую 2–3-этажную подземную часть, в связи с чем необходимо выполнение откопки до 18 м, однако даже такие значительные подрезки склона не позволяют зданию опираться на однородные грунты. Это показано на рис. 11, где правая часть фундамента здания опирается на скальные грунты ИГЭ-4, а левая часть — на дисперсные грунты ИГЭ-2, 3.

В таких условиях применение традиционных решений фундаментов является трудоемким и экономически неэффективным. В связи с чем было разработано специальное техническое

решение фундамента, которое предусматривало выравнивание деформационных характеристик основания за счет применения вертикального армирования основания буронабивными сваями под частью фундаментной плиты высотного жилого здания (рис. 12).

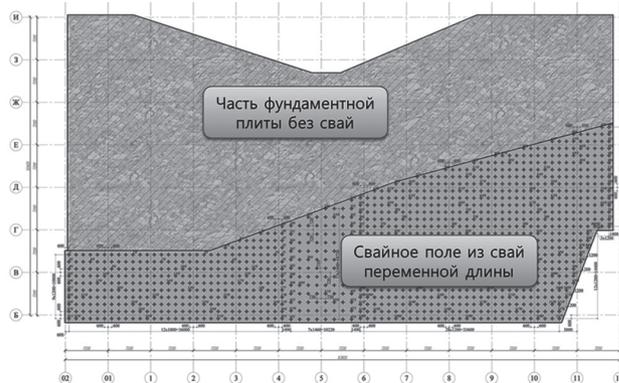


Рис. 12. Схема расположения элементов вертикального армирования основания высотного жилого здания

Суть технического решения заключалась в использовании буронабивных свай $d400$ мм переменной длины — 2,0–18,0 м (см. рис. 11). Сваи выполнялись с отметки дна котлована $-9,10$ м (абс. отм. $-65,60$ м) (рис. 15). Длина свай назначалась из расчета заглубления подошвы свай в мергель (ИГЭ-4) не менее чем на 1,0 м. В верхней правой части фундамента, согласно инженерно-геологическим изысканиям, в основании фундаментной плиты здания залегает мергель (ИГЭ-4), в этих местах фундаментная плита здания опирается на естественное основание. В нижней правой части — на сваи. Все сваи вертикально армированного основания объединяются монолитной плитой толщиной 450 мм для более равномерного и совместного восприятия проходящих нагрузок на армированное основание. Между сваями и плитой здания выполняется промежуточная подушка (рис. 13) толщиной 600 мм из гранитного щебня для снятия значительных горизонтальных нагрузок, проходящихся на сваи при сейсмическом событии в 9 баллов [18].

Использование современных геотехнологий в сочетании с заданной проектом последовательностью возведения фундамента, а также адаптация объемно-планировочного решения проектируемого объекта к существующему рельефу дают техническую и экономическую возможность воплотить задуманный архитектурный

проект на практике. Это требует соответствующего расчетного обоснования и применения нестандартных технических решений фундаментов.

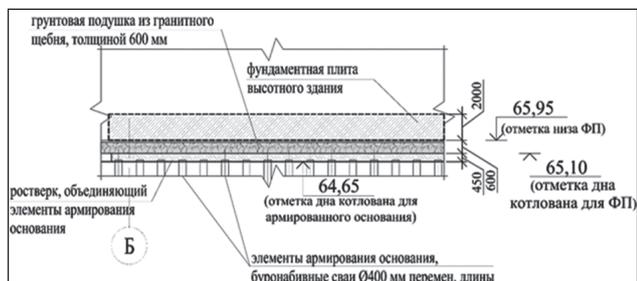


Рис. 13. Техническое решение плитного фундамента на армированном основании для высотного здания в г. Сочи



Рис. 14. Процесс бурения свай инженерной защиты глубокого котлована



Рис. 15. Начало бурения свай вертикально армированного основания высотного здания с проектной отметки дна котлована



Рис. 16. Устройство промежуточной подушки из гранитного щебня для компенсации горизонтальных воздействий на высотное здание



Рис. 17. Этап возведения 14-го надземного этажа высотного здания



Рис. 18. Завершение фасадных работ на объекте

Литература

- СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* [Текст]. — М.: Минстрой России, 2015.
- СНKK 22-301-2000 Строительство в сейсмических районах Краснодарского края [Текст]. — М.: Госстрой России, 2001.
- Шадунц К.Ш. К расчету зданий и сооружений на сложных, неравномерно сжимаемых основаниях [Текст] / К.Ш. Шадунц, М.Б. Мариничев // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2003. — № 2. — С. 7–10.
- Мариничев М.Б. Эффективные фундаментные конструкции в сложных грунтовых условиях [Текст] / М.Б. Мариничев, К.Ш. Шадунц, А.Ю. Маршалка // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — № 2. — С. 34–36
- Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] / Под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. — 2-е изд., доп. и перераб. — М.: АСВ, 2016. — 1040 с.
- Справочник проектировщика. Основания и фундаменты, подземные сооружения [Текст] / Под общ. ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова. — М.: Стройиздат, 1985. — 480 с.
- Руководство по проектированию свайных фундаментов [Текст] // НИИОСП им. Герсеванова. — М.: Госстрой СССР, 1980.
- Рекомендации по проектированию свайных фундаментов с промежуточной подушкой для зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах [Текст] // НИИ оснований им. Герсеванова при уч. института «Фундамент-проект». — Кишинев, 1974.
- Способ строительства свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах [Текст]: пат. 2300604 Рос. Федерация: МПК E02D 27/34 № 2005131149/03 заявл. 07.10.2005; опубл. 10.06.2007, бюл. № 16 / К.Ш. Шадунц, М.Б. Мариничев, В.А. Демченко / заявка 2005131149/03, заявл. 07.10.2005; опубл. 10.06.2007, бюл. № 16.
- Способ возведения свайно-плитного фундамента: пат. 2378454 Рос. Федерация [Текст]: МПК E02D27/14 № 2008133436/03, заявл. 14.08.2008; опубл. 10.01.2010, бюл. № 1 / К.Ш. Шадунц, М.Б. Мариничев / заявка 2008133436/03, заявл. 14.08.2008; опубл. 10.01.2010, бюл. № 1.
- Мариничев М.Б. Разработка конструктивного решения вертикально армированного основания плитного фундамента высотного здания в сейсмическом районе [Текст] / М.Б. Мариничев, И.Г. Ткачев // Материалы международной научно-технической конференции «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении». — Новочеркасск: Политехник, 2015. — С. 272–281.
- Практическая реализация метода вертикального армирования неоднородного основания для компенсации неравномерной деформируемости грунтового массива и снижения сейсмических воздействий на надземное сооружение / М.Б. Мариничев, И.Г. Ткачев, Ю. Шлее // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2013. — № 10. — IDA [article ID]: 0941310051. — URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/51.pdf/>
- Мариничев М.Б. Опыт реализации нестандартных методов проектирования и строительства фундаментов высотных зданий в сейсмических районах [Текст] / М.Б. Мариничев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2017. — № 01. — С. 623–657. — IDA [article ID]: 1251701043. — URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/43.pdf/>
- Мариничев М.Б. Оценка эффективности свайно-плитных фундаментов с промежуточной подушкой на примере высотных зданий в сейсмических районах Краснодарского края / М.Б. Мариничев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета [Электронный ресурс]. — Томск: Изд-во ТГАСУ, 2017. — № 2. — С. 182–191. — URL: http://www.tsuab.ru/upload/files/additional/2_2017_14_Marinichev_file_5189_4644_4039.pdf/
- Мариничев М.Б. Особенности учета инженерно-геологического строения оснований пойменных территорий в сейсмических районах при выборе технических решений фундаментов высотных зданий [Текст] / М.Б. Мариничев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2018. — № 1. — С. 103–113.
- Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов [Текст]: монография / А.Г. Малинин. — Пермь: Пресстайм, 2007. — 168 с.
- Шашкин А.Г. Расчеты взаимодействия высотного здания и основания с учетом нелинейных свойств конструкционных материалов и грунтов [Текст] / А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин // Жилищное строительство. — 2015. — № 9. — С. 30–35.
- Договор № 1662/38-148-06/СП между ООО «Датонг Групп» и НИИОСП им. Н.М. Герсеванова — филиалом ФГУП «НИЦ «Строительство» [Текст].

References

- SP 14.13330.2014 *Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-7-81** [SP 14.13330.2014 Construction in seismic areas. Updated edition of SNiP II-7-81*]. Moscow: Minstroy Rossii Publ., 2015.
- SNKK 22-301-2000 *Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh Krasnodarskogo kraya* [SNKK 22-301-2000 Construction in seismic areas of the Krasnodar Territory]. Moscow: Gosstroy Rossii Publ., 2001.
- Shadunts K.Sh., Marinichev M.B. K raschetu zdaniy i sooruzheniy na slozhnykh, neravnomerno szhimaemykh osnovaniyakh [To the calculation of buildings and structures on complex, unevenly compressible bases]. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov* [Grounds, foundations and soil mechanics]. 2003, I. 2, pp. 7–10.
- Marinichev M.B., Shadunts K.Sh., Marshalka A.Yu. Effektivnye fundamentnye konstruksii v slozhnykh gruntovykh usloviyakh [Effective foundation structures in difficult ground conditions]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Construction]. 2013, I. 2, pp. 34–36.
- Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya* [Reference geotechnics. Foundations, foundations and underground structures]. Moscow: ASV Publ., 2016. 1040 p.
- Spravochnik proektirovshchika. Osnovaniya i fundamenti, podzemnye sooruzheniya* [Reference Designer. Foundations and foundations, underground structures]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1985. 480 p.

7. Rukovodstvo po proektirovaniyu svaynykh fundamentov [Guidelines for the design of pile foundations]. *NIIOSP im. Gersevanova* [NIIOSP them. Gersevanov]. Moscow: Gosstroy SSSR Publ., 1980.
8. Rekomendatsii po proektirovaniyu svaynykh fundamentov s promezhutochnoy podushkoy dlya zdaniy i sooruzheniy, vozvodimykh v seysmicheskikh rayonakh [Recommendations for the design of pile foundations with an intermediate cushion for buildings and structures erected in seismic areas]. *NII osnovaniy im. Gersevanova pri uch.instituta "Fundament-proekt"* [Research Institute of Foundations. Gersevanova at uch.instituta "Foundation Project"]. Kishinev, 1974.
9. Shadunts K. Sh., Marinichev M.B., Demchenko V.A. *Sposob stroitel'stva svayno-plitnykh fundamentov v seysmicheskikh rayonakh* [The method of construction of pile-slab foundations in seismic areas].
10. Shadunts K.Sh., Marinichev M.B. *Sposob vozvedeniya svayno-plitnogo fundamenta* [The method of construction of pile-slab foundation].
11. Marinichev M.B., Tkachev I.G. Razrabotka konstruktivnogo resheniya vertikal'no armirovannogo osnovaniya plitnogo fundamenta vysotnogo zdaniya v seysmicheskom rayone [Development of a constructive solution for a vertically reinforced base of a slab foundation of a high-rise building in a seismic region]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii»* [Materials of the international scientific-technical conference "Soil Mechanics in Geotechnics and Foundation Engineering"]. Novocherkassk: ID «Politekhnik» Publ., 2015, pp. 272–281.
12. Marinichev M.B., Tkachev I.G., Shlee Yu. Prakticheskaya realizatsiya metoda vertikal'nogo armirovaniya neodnorodnogo osnovaniya dlya kompensatsii neravnomernoy deformiruemosti gruntovogo massiva i snizheniya seysmicheskikh vozdeystviy na nadzemnoe sooruzhenie [Practical implementation of the method of vertical reinforcement of a heterogeneous foundation to compensate for the uneven deformability of the soil massif and reduce seismic effects on the above-ground structure]. *Politematicheskyy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU)* [Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific journal KubGAU)]. Krasnodar: KubGAU Publ., 2013, I. 10. Available at <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/51.pdf/>
13. Marinichev M.B. Opyt realizatsii nestandartnykh metodov proektirovaniya i stroitel'stva fundamentov vysotnykh zdaniy v seysmicheskikh rayonakh [Experience in implementing non-standard methods for designing and building foundations for high-rise buildings in seismic areas]. *Politematicheskyy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU)* [Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (KubSAU Scientific Journal)]. Krasnodar: KubGAU Publ., 2017, I. 01, pp. 623–657. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/43.pdf/>
14. Marinichev M.B. Otsenka effektivnosti svayno-plitnykh fundamentov s promezhutochnoy podushkoy na primere vysotnykh zdaniy v seysmicheskikh rayonakh Krasnodarskogo kraya [Assessment of the effectiveness of pile-slab foundations with an intermediate cushion on the example of high-rise buildings in seismic regions of the Krasnodar Territory]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Bulletin]. Tomsk: TGASU Publ., 2017, I. 2, pp. 182–191. Available at: http://www.tsuab.ru/upload/files/additional/2_2017_14_Marinichev_file_5189_4644_4039.pdf/
15. Marinichev M.B. Osobennosti ucheta inzhenerno-geologicheskogo stroeniya osnovaniy poymennykh territoriy v seysmicheskikh rayonakh pri vybore tekhnicheskikh resheniy fundamentov vysotnykh zdaniy [Features of accounting for the engineering-geological structure of the bases of floodplain areas in seismic areas when choosing technical solutions for foundations of high-rise buildings]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture]. Perm': PNIPU Publ., 2018, I. 1, pp. 103–113.
16. Malinin A.G. Struynaya tsementatsiya gruntov [Jet grouting soil]. Perm': Presstaym Publ., 2007. 168 p.
17. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Raschety vzaimodeystviya vysotnogo zdaniya i osnovaniya s uchetom nelineynykh svoystv konstruksionnykh materialov i gruntov [Calculations of the interaction of high-rise buildings and foundations, taking into account the nonlinear properties of structural materials and soils]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. Moscow: "Stroymaterialy" Publ., 2015, I. 9, pp. 30–35.
18. *Dogovor №1662/38-148-06/SP mezhdou OOO «Datong Grupp» i NIIOSP im.N.M. Gersevanova — filialom FGUP «NITs «Stroitel'stvo»* [Contract No. 1662 / 38-148-06 / SP between Datong Group LLC and NIIOSP named after N.M. Gersevanova — branch of FSUE "Scientific and Research Center" Construction"].