Мариничев М.Б. Особенности учета инженерно-геологического строения оснований пойменных территорий в сейсмических районах при выборе технических решений фундаментов высотных зданий // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1. – С. 103–113. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.10

Marinichev M.B. Features of the subsoil behavior consideration in geotechnical design for high rise buildings located on floodplain territories in seismic regions. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2018. No. 1. Pp. 103-113. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.10

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
№ 1, 2018
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.10

УДК 624.154

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ОСНОВАНИЙ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ФУНДАМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

М.Б. Мариничев

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 20 октября 2017
Принята: 15 января 2018
Опубликована: 30 марта 2018

Ключевые слова:

неравномерно сжимаемое основание, сейсмическое воздействие, многоэтажное здание, фундамент, фундаментная плита, сваи, вертикальное армирование основания, неравномерная осадка фундамента, промежуточная подушка

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы проектирования фундаментов многоэтажных зданий, расположенных в пойменной части р. Кубани. Строительная площадка, отведенная под квартальную застройку, характеризуется наличием неоднородных по генезису и пространственному сложению песчано-глинистых грунтов. При выборе вида фундаментов многоэтажных зданий учитывалась неравномерная сжимаемость основания, 8-балльное сейсмическое воздействие на здания и другие факторы. Сформулированы принципы конструирования основного варианта фундаментов многоэтажных зданий на неравномерно сжимаемых песчано-глинистых грунтах. В связи с постоянным развитием крупных городов, которое зачастую предусматривает строительство на неудобных с геотехнической точки зрения участках, а также на пойменных территориях, совершенствование принципов фундаментостроения в таких условиях уже не менее двух десятилетий остается очень актуальным направлением.

Однако любые предлагаемые принципы фундаментостроения можно считать обоснованными только в том случае, если они имеют необходимое обоснование на всех этапах теоретических, экспериментальных и практических исследований. Кроме того, количество проведенных исследований и рассмотренных объектов должно быть достаточным для обоснованности выводов. Проведенная за последние 15 лет работа позволила автору статьи обобщить результаты научно-практической работы, направленной на поиск надежного и рационального технического решения фундаментов высотных зданий, расположенных в сложных грунтовых условиях. Одно из таких решений рассмотрено в данной статье. Предложенный способ строительства фундаментов высотных зданий на неравномерно-сжимаемых грунтах в сейсмических районах был применен при строительстве целого ряда объектов в разных городах Краснодарского края.

© ПНИПУ

© **Мариничев Максим Борисович** – кандидат технических наук, e-mail: marinichev@list.ru.

Maxim B. Marinichev – Ph.D. in Technical Sciences, e-mail: marinichev@list.ru.

FEATURES OF SUBSOIL BEHAVIOR CONSIDERATION IN GEOTECHNICAL DESIGN OF HIGH RISE BUILDINGS LOCATED ON FLOODPLAIN TERRITORIES IN SEISMIC REGIONS

M.B. Marinichev

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 October 2017

Accepted: 15 January 2018

Published: 30 March 2018

Keywords:

non-homogenous subsoil,
seismic influence, high-rise building,
multi-storey building, foundation,
foundation slab, piles, vertical
reinforcement of foundation,
non-uniform settlement
of foundation, intermediate layer

ABSTRACT

The paper contains an example of calculating and designing the foundations for multistoried buildings located on a floodplain of the Kuban River. The construction site of an upcoming residential block is complicated by non-homogenous and spatially irregular sandy-clay layers. In order to determine a foundation type it is necessary to consider such factors as high seismicity and subsoil liquefaction. Foundation design principles have been proposed for the block of multistoried residential buildings located on non-uniformly composed sandy-clay subsoil.

Due to a constant development of large cities which is often associated with constructions based on inconvenient geotechnical sites, as well as floodplain areas, the issue of improving the principles of foundation design in such conditions has remained to be relevant for at least two decades.

However, any proposed principles of foundation design can be implemented, only if they have the necessary substantiation after all the stages of theoretical, experimental and practical studies. In addition, the number of performed studies and investigated objects should be enough to approve the proposed methods. The research carried out in the last fifteen years allowed the author to generalize the results of scientific and practical work aimed at finding a reliable and rational technical solution for foundations of high-rise buildings located in non-homogenous subsoil conditions. One of these solutions is presented in the paper. The proposed method of foundation design for high-rise buildings on unevenly-compressible soils in seismic regions had been used during the construction process of numerous projects in different cities of Kuban region.

© PNRPU

В последние годы решение значительного числа научно-практических задач в строительстве для условий Краснодарского края связано с освоением строительных площадок со сложными грунтовыми условиями, характеризующимися наличием слабых водонасыщенных песчаных и глинистых грунтов неравномерного сложения, а также высокой фоновой сейсмичностью территории. Стоимость устройства фундаментов многоэтажных зданий, расположенных на строительных площадках со сложными грунтовыми условиями, может достигать 25–30 % от стоимости всех общестроительных работ для возводимого объекта. Детальный подход к обоснованию вида фундаментов многоэтажных зданий приводит к осязаемому итоговому снижению стоимости строительства, что является решающим фактором при реализации масштабных проектов в условиях рыночной экономики и значительно возросшей конкуренции между застройщиками [1].

В статье рассматривается проектирование многоэтажных жилых зданий на правом берегу р. Кубани в Тахтамукайском районе Республики Адыгея (рис. 1). Реализация проекта могла быть приостановлена без применения эффективного и рационального вида фундаментов. В ходе решения поставленных задач по поиску основного вида фундаментов для рассматриваемых многоэтажных зданий были проанализированы данные инженерно-геологических изысканий и условия посадки рассматриваемого жилого комплекса.

Застройка квартала состоит из 11 жилых 10-этажных зданий, каждое из которых насчитывает от одной до трех монолитных железобетонных секций. В геоморфологическом отношении участок строительства приурочен к III правобережной надпойменной террасе р. Кубани.

Рис. 1. Визуализация генерального плана застройки жилого комплекса на правом берегу р. Кубани

Fig. 1 Visualization of the master plan of a residential complex located on the right bank of the Kuban River

Участок строительства сложен четвертичными техногенными и аллювиальными отложениями, изученными до глубин 25 м. Сейсмичность района являлась основным фактором, осложняющим строительство. Для зданий, сооружений нормального уровня ответственности по СП 14.13330.2011 (карта ОСР-97-А) и ТСН 22-301-2002 фоновая сейсмичность участка строительства составляет 8 баллов. Характерный инженерно-геологический разрез представлен на рис. 2.

Рис. 2. Инженерно-геологический разрез участка строительства

Fig. 2 Cross-section with subsoil conditions of the construction site

Свойства инженерно-геологических элементов приведены в табл. 1. В результате деятельности р. Кубани ее пойменная часть сформировалась с очень сложным, незакономерным чередованием грунтов [2]. Среди инженерно-геологических элементов в ходе изысканий выявлен слой грунта (ИГЭ-4) – песок мелкий, рыхлый, разжижаемый при землетрясениях. При этом подстилающие для ИГЭ-4 слои песка обладают уже другими свойствами и имеют среднюю плотность сложения, среднюю крупность и иной характер напластования. В промежутке между слоями песка расположены слабые суглинки с модулем деформации менее 10 МПа.

Таблица 1

Сводные данные физико-механических свойств грунтов площадки строительства

Table 1

Physical and mechanical properties of layers

Физико-механические свойства пород	Ед. изм.	ИГЭ-1 почва глинистая	ИГЭ-2 суглинок	ИГЭ-3 глина	ИГЭ-4 песок мелкий, рыхлый	ИГЭ-5 песок мелкий, ср. плотности	ИГЭ-6 песок ср. крупности, ср. плотности
Влажность природная	%	22	27	33	27	23	21
Влажность	%	47	37	41	–	–	–
Влажность на границе раскатывания	%	24	22	22	–	–	–
Число пластичности	д.е	0,23	0,15	0,19	–	–	–
Показатель текучести	д.е	–0,09	0,30	0,61	–	–	–
Степень влажности	д.е	0,74	0,84	0,93	0,97	0,97	0,98
Плотность:							
– частиц грунта	г/см ³	2,73	2,71	2,72	2,65	2,65	2,65
– природная плотность	г/см ³	1,84	1,85	1,84	1,93	2,00	2,04
– при $w = 0,95$		1,81	1,83	1,83	1,92	1,99	2,04
– при $w = 0,85$		1,82	1,84	1,83	1,93	1,99	2,04
– скелета	г/см ³	1,50	1,46	1,38	1,51	1,62	1,68
Коэффициент пористости	–	0,819	0,856	0,972	0,752	0,639	0,575
Модуль деформации							
– общий при естественной влажности	МПа	–	8,2	8,3	17	20	32
– общий в водонасыщенном состоянии	МПа	–	–	–	–	–	–
Сцепление:							
– нормативное значение	кПа	–	18	30	0	2	2
– расчетное значение	кПа	–			0	1	1
– при $a = 0,95$	кПа	–	16	28			
– при $w = 0,85$	кПа	–	17	29			
Угол внутреннего трения:							
– нормативное значение	град	–	20	17	28	31	35
– расчетное значение	град	–			25	28	32
– при $a = 0,95$	град	–	19	16	–	–	–
– при $w = 0,85$	град	–	19	17	–	–	–
Коэффициент фильтрации	м/сут	0,001	0,1	0,001	0,1	10,0	10,0

Проектное решение здания жилой застройки (данные проектной организации) имеет конструктивную схему с несущими продольными и поперечными стенами, его фундаментная часть должна выполняться в виде сплошной монолитной железобетонной плиты толщиной 500 мм. Давление по подошве плиты, передаваемое на основание, составляло около 250 кПа.

В настоящее время известна распределительная способность сплошных монолитных фундаментных плит [3, 4]. Поэтому проектная организация, изначально разрабатывающая проектную документацию, в качестве основного варианта для типового многоэтажного здания определила вариант плитного фундамента на естественном основании. Для рассматриваемых жилых многоэтажных зданий были выполнены расчеты осадок (деформаций) по методу СП 22.13330.2011, в ходе которых установлено, что прогнозируемая осадка плитных фундаментов по величине и неравномерности значительно превышает допустимые значения.

После выполненных поверочных расчетов осадок и неравномерностей осадок проектная организация для рассматриваемых зданий применила свайные фундаменты из забивных составных свай длиной 20 м. Сваи должны были пройти все сложные напластования грунтов (см. рис. 2) и опереться нижними концами в песок средней крупности (ИГЭ-6). Однако в процессе забивки свай их посадка на заданные проектные отметки оказалось невозможной из-за различной плотности сложения и неравномерной сжимаемости грунтов. Фактическое положение свай оказалось на 2–8 м выше проектного (рис. 3). Попытки строителей приложить большие усилия при забивке свай приводили к их разрушению. Несмотря на это, длина и количество свай в предложенном проектом решении не могли быть уменьшены, так как имели соответствующее обоснование и не должны были опираться на разные слои грунта.

Рис. 3. Фактическое положение составных железобетонных свай заводского изготовления на участке строительства многоэтажных жилых зданий на правом берегу р. Кубани, Республика Адыгея
Fig. 3 Actual location of composite reinforced concrete fabricated piles at the construction site of multi-storey residential buildings located on the right bank of the Kuban River, the Republic of Adygea

Третий из рассмотренных проектировщиками вариантов фундаментов многоэтажных жилых зданий предусматривал использование буровых свай. Однако этот вариант оказался затратным и требовал длительного срока производства работ.

Таким образом, высокая плотность застройки, изменчивость пойменных отложений под каждой блок-секцией многоэтажных зданий, а также 8-балльная сейсмичность строительной площадки определили необходимость разработки других вариантов фундаментов зданий и принципов фундаментостроения в целом для осваиваемого пойменного участка на правом берегу р. Кубани в Республике Адыгея.

Для проектируемых многоэтажных жилых зданий на неравномерно сжимаемых пойменных участках в Республике Адыгея специалистами Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ) (2012 г.) совместно с ООО ГЕОТЭК (2013 г.) был разработан вариант фундаментов, состоящих из коротких забивных свай, головы которых отделены от фундаментной плиты, и промежуточной подушки [5–7].

Аналогичные варианты используются в последние годы не только в гражданском строительстве зданий в сейсмических районах [8], но и в сельскохозяйственном, а также транспортном строительстве объектов (рис. 4) [9]. Например, применяемое техническое решение при строительстве железной дороги в Германии предусматривает высокую распределительную способность армированного основания, которая достигается в том числе за счет вовлечения в работу промежуточной подушки [10–12].

Рис. 4. Применяемое техническое решение: *а* – завершающий этап выполнения промежуточной подушки, являющейся основанием железной дороги в Германии (2012 г.); *б* – этап забивки свай и устройство сборных оголовков при строительстве железной дороги в Германии

Fig. 4. Applied engineering: *a* – the final stage of constructing the intermediate layer used as a basis of the railway in Germany (2012); *b* – the stage of pile driving and installation of prefabricated caps during construction process of the railway in Germany

Для оценки эффективности предложенного варианта фундаментов многоэтажных жилых зданий на пойменной террасе р. Кубани было проведено пространственное моделирование его работы с учетом фактического состояния и напластования грунтов основания. Вертикальное армирование основания моделировалось в виде коротких забивных железобетонных свай сечением 350×350 мм и длиной 10 м, отделенных от фундаментной плиты промежуточной подушкой, имеющей высоту 600 мм, выполненную из гранитного щебня (рис. 5).

Использование свай длиной 10 м (погружаемых с отметки низа промежуточной подушки) было обусловлено повышением жесткости основания и более полным включением в работу фундаментной плиты [13, 14]. Предложенный вариант фундаментов предусматривал также применение на отдельных участках пятна застройки здания свай длиной более

10 м, а также свай с различным расстоянием между осями. Такое решение объяснялось уменьшением расчетных значений осадок фундаментов многоэтажных зданий и их неравномерностей [15, 16].

Рис. 5. Пространственная расчетная модель «армированное основание – промежуточная подушка – фундаментная плита»
Fig. 5 Spatial model “reinforced base-intermediate layer-foundation slab”

Анализ результатов выполненных расчетов показал, что деформации системы «армированное основание – промежуточная подушка – фундаментная плита» относительно первоначального варианта (плитного фундамента) снизились на 46 %, а давление, передаваемое на армированное основание из вертикальных железобетонных свай, находится в пределах, не превышающих расчетное сопротивление грунта армированного основания и расчетные значения усилий на оголовки устроенных свай. Переход к вертикальному армированию основания из забивных железобетонных свай длиной 10 м позволил обеспечить соблюдение требований расчета оснований по двум группам предельных состояний. По сравнению с вариантом

Рис. 6. Этап выполнения промежуточной подушки для многоэтажного жилого здания
Fig. 6. Stage of arranging the intermediate layer for a multi-storey residential building

из забивных железобетонных свай длиной 20 м показатели материалоемкости снизились примерно в 1,8 раза. Этап выполнения промежуточной подушки для типовой секции многоэтажного жилого здания приведен на рис. 6. Сравнение основных рассматриваемых вариантов фундаментов многоэтажного здания на неравномерно сжимаемых грунтах представлено в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнения основных вариантов рассчитанных
фундаментов многоэтажного жилого дома

Table 2

Comparison of main calculated foundations for a multi-storey residential building

Вид фундамента	Максимальная осадка фундаментов, мм	Неравномерность деформаций вариантов фундаментов	Длина свай, м	Количество метров погонной длины свай	Примечание
Монолитная железобетонная плита толщиной 500 мм	247	0,005	—	—	Не выполнены нормативные требования
Свайный ленточный из забивных составных свай	78	0,001	20	10 820	Не выполнены нормативные требования
Свайный с промежуточной подушкой	132	0,002	10	5790	Все нормативные требования выполнены

Таким образом, строительство зданий, сооружений в сложных инженерно-геологических условиях, таких как пойменные отложения рек, повышенная сейсмичность строительных площадок и другие, требует разработки в целом принципов устройства фундаментов многоэтажных зданий на неравномерно сжимаемых грунтах в сейсмических районах.

Выводы

1. На основе анализа материалов инженерно-геологических изысканий, проектирования и строительства многоэтажных зданий в пойменной части р. Кубани (Республика Адыгея) разработан рациональный вариант фундаментов на неравномерно сжимаемых песчано-глинистых грунтах с сейсмичностью строительной площадки 8 баллов. Отличительная особенность предлагаемого варианта заключается в том, что в нем практически исключается действие горизонтальных сейсмических нагрузок (усилий) на головы свай, а вертикальные нагрузки от надземного строения равномерно распределяются на армированное основание многоэтажного здания.

2. Для оценки эффективности предложенного варианта фундаментов многоэтажных жилых зданий на неравномерно сжимаемых грунтах было проведено пространственное моделирование его работы с учетом фактического состояния свай и напластования грунтов основания. Эффективность предложенного варианта фундаментов подтверждена результатами проведенных натурных испытаний свай и данными выполненного геотехнического мониторинга.

Библиографический список

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общей ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
2. Полищук А.И. Анализ грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий: науч.-практ. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 104 с.
3. Шадунц К.Ш., Мариничев М.Б. К расчету зданий и сооружений на сложных, неравномерно сжимаемых основаниях // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 2. – С. 7–10.
4. Шадунц К.Ш., Мариничев М.Б. Плитные фундаменты многоэтажных зданий на просадочных грунтах // Жилищное строительство. – 2003. – № 11. – С. 16–18.
5. Попов А.О. Несущая способность и осадки грунтовых оснований, армированных вертикальными элементами // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 11. – С. 27–31.
6. Нуждин Л.В., Кузнецов А.А. Армирование грунтов основания вертикальными стержнями // Труды международного семинара по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям. – М.: Изд-во МГСУ, 2000. – С. 204–206.
7. Караулов А.М. Методика расчета вертикально армированного основания плитного фундамента // Материалы международной научно-практической конференции ПГАСА. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2002. – С. 66–69.
8. Мариничев М.Б., Ткачев И.Г. Разработка конструктивного решения вертикально армированного основания плитного фундамента высотного здания в сейсмическом районе // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Новочеркасск: Политехник, 2015. – С. 272–281.
9. Мариничев М.Б., Ткачев И.Г., Шлее Ю. Практическая реализация метода вертикального армирования неоднородного основания для компенсации неравномерной деформируемости грунтового массива и снижения сейсмических воздействий на надземное сооружение [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2013. – № 10(094). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/51.pdf>. (дата обращения: 17.04.2017).
10. Мариничев М.Б., Шадунц К.Ш., Маршалка А.Ю. Эффективные фундаментные конструкции в сложных грунтовых условиях // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 2. – С. 34–36.
11. Шадунц К.Ш., Мариничев М.Б., Демченко В.А. Способ строительства свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах: пат. Рос. Федерация. – № 2300604, опубл. 07.10.2005. – 2 с.
12. Способ возведения свайно-плитного фундамента: пат. Рос. Федерация / Шадунц К.Ш., Мариничев М.Б. – № 2378454, опубл. 14.08.2008. – 2 с.
13. Russell D., Pierpoint N. An Assessment of Design Methods for Piled Embankments // Ground Engineering. – 1997. – No. 30(11). – P. 39–44.
14. Hegg U., Jammilkowski M.B., Parvis E. Behavior of oil tanks on soft cohesive ground improved by vertical drains // Proceedings of 8-th ECSMFE, 1983. – No. 2. – P. 627–632.
15. Мариничев М.Б. Опыт реализации нестандартных методов проектирования и строительства фундаментов высотных зданий в сейсмических районах [Электронный документ] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского

государственного аграрного университета. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2017. – № 01(125). – С. 623–657. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/43.pdf> (дата обращения: 17.04.2017).

16. Тер-Мартиросян З.Г., Струнин П.В. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 310–315.

References

1. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya [Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Moscow, ASV, 2014, 728 p.

2. Polishchuk A.I. Analiz gruntovykh uslovii stroitel'stva pri proektirovanii fundamentov zdaniy [Analysis of soil conditions of construction in the design of buildings foundations]. Moscow, ASV, 2016, 104 p.

3. Shadunts K.Sh., Marinichev M.B. K raschetu zdaniy i sooruzheniy na slozhnykh, neravnomerno szhimaemykh osnovaniyakh [The calculation of buildings and structures located on composed non-uniform bases]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2003, no. 2, pp. 7–10.

4. Shadunts K.Sh., Marinichev M.B. Plitnye fundamenty mnogoetazhnykh zdaniy na prosadochnykh gruntakh [Slab foundation of multi-storey buildings on subsiding soils]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2003, no. 11, pp. 16–18.

5. Popov A.O. Nesushchaya sposobnost i osadki gruntovykh osnovaniy, armirovannykh vertikalnymi elementami [Bearing capacity and precipitation soil foundations reinforced vertical elements]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2014, no. 11, pp. 27-31.

6. Nuzhdin L.V., Kuznetsov A.A. Armirovaniye gruntov osnovaniya vertikalnymi sterzhnyami [The soil foundation reinforcement vertical bars]. *Trudy mezhdunarodnogo seminara po mekhanike gruntov, fundamentostroyeniyu i transportnym sooruzheniyam*. Moscow, MGSU, 2000, pp. 204-206.

7. Karaulov A.M. Metodika rascheta vertikalno armirovannogo osnovaniya plitnogo fundamenta [Method of calculation of the vertically reinforced basement of slab foundation], *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii PGASA*. Penza, PGASA, 2002, pp. 66-69.

8. Marinichev M. B., Tkachev I. G. Razrabotka konstruktivnogo resheniya vertikal'no armirovannogo osnovaniya plitnogo fundamenta vysotnogo zdaniya v seismicheskom raione [Elaboration of constructive solutions for vertical reinforced base of slab foundation of high-rise building in seismic region] *Proceedings of International Scientific-Technical Conference. Soil Mechanics and Foundation Engineering in Geotechnical Engineering*. Novocherkassk, 2015, pp. 272-281.

9. Marinichev M.B., Tkachev I.G., Shlee Yu. Prakticheskaya realizatsiya metoda vertikal'nogo armirovaniya neodnorodnogo osnovaniya dlya kompensatsii neravnomernoi deformiruемости gruntovogo massiva i snizheniya seismicheskikh vozddeystviy na nadzemnoe sooruzhenie [Practical implementation of vertical reinforcement for non-homogeneous bases as a method to reduce non-uniform deformability of subsoil and compensate seismic loads to upper structure]. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2013, no. 10(094), pp. 758–771, available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/51.pdf> (accessed 17 April 2017).

10. Marinichev M.B., Shadunts K.Sh., Marshalka A.Yu. Effektivnye fundamentnye konstruksii v slozhnykh gruntovykh usloviyakh [Effective foundations in complex subsoil conditions]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 2, pp. 34-36.

11. Shadunts K.Sh., Marinichev M.B., Demchenko V.A. Sposob stroitel'stva svaino-plitnykh fundamentov v seismicheskikh raionakh [The method of construction of pile-raft foundation in seismic regions] Pat. Rus. Fed. N 2300604. Publ. 07.10.2005.
12. Shadunts K. Sh., Marinichev M. B. Sposob vozvedeniya svaino-plitnogo fundamenta [A method of construction of pile-raft foundation] Pat. Rus. Fed. N 2378454. Publ.14.08.2008
13. Russell D., Pierpoint N. An assessment of design methods for piled embankments. *Ground Engineering*, 1997, no. 30(11), pp. 39-44
14. Hegg U., Jammilkowski M B., Parvis E. Behavior of oil tanks on soft cohesive ground improved by vertical drains. *Proceedings of 8-th ECSMFE*, 1983, no. 2, pp. 627-632.
15. Marinichev M. B. Opyt realizacii nestandartnykh metodov proektirovaniya I stroitel'stva fundamentov vysotnykh zdaniy v seismicheskikh raionah [The experience of non-standard design and construction methods for the foundations of high-rise buildings in seismic regions]. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2017, no. 01(125), pp. 623–657, available at: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/43.pdf> (accessed 17 April 2017).
16. Ter-Martirosyan Z.G., Strunin P.V. Usileniye slabyykh gruntov v osnovanii fundamentnykh plit s ispolzovaniyem tekhnologii struynoy tsementatsii gruntov [Strengthening of weak soils in the bottom of base plates using the technology of jet grouting of soils]. *Vestnik MGSU*, 2010, no. 4, pp. 310-315.