

ОСОБЕННОСТИ АРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ОСНОВАНИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

М. Б. Мариничев, И. Г. Ткачев

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина», г. Краснодар

Аннотация. В статье приведен практический опыт устройства армированного основания, выполненного с использованием коротких забивных свай заводского изготовления. Метод армирования основания при помощи забивных свай рассмотрен и реализован на примере строительства комплекса высотных зданий в г. Краснодаре, расположенных на слабых грунтах.

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

SOME ASPECTS OF SOIL REINFORCEMENT DESIGN FOR HIGH- RISE BUILDINGS LOCATED ON NON-HOMOGENEOUS SUBSOIL IN SEISMIC REGIONS

M.B. Marinichev, I.G. Tkachev

FSBEI HE "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin"

Abstract. The paper describes an experience of soil reinforcement with short driven pre-casted piles. The subsoil reinforcing method with driven piles is considered and implemented during construction of high-rise buildings in Krasnodar located on weak soil.

Key words: non-homogenous subsoil, seismic influence, high-rise building, pile-raft foundation, non-uniform settlement, intermediate layer, pile test.

Способы выполнения армирования неоднородных грунтов, а также совершенствование соответствующих методов расчета неизменно вызывает большой интерес исследователей, т.к. стоимостные и временные затраты на выполнение армированных оснований всегда оказываются существенно ниже, чем для традиционных свайных фундаментов. Особенно это касается тяжелых сооружений, испытывающих значительные динамические воздействия, например, сейсмические и ветровые нагрузки.

Опыт последнего десятилетия соответствует масштабной застройке крупных городов Краснодарского края высотными зданиями различного функционального назначения (рис. 1).



Рис. 1 – Застройка ул. Кубанская Набережная г. Краснодара за последние 15 лет

Высокая сейсмичность участков строительства (рис. 2) [1,2], неоднородность грунтовых массивов, большие напряжения на подошве фундамента, учет взаимного влияния с существующими зданиями, – эти факторы привели к необходимости детального рассмотрения различных особенностей выполнения армирования оснований и поиска наиболее рациональных решений, подтвержденных данными периодических наблюдений за деформациями.

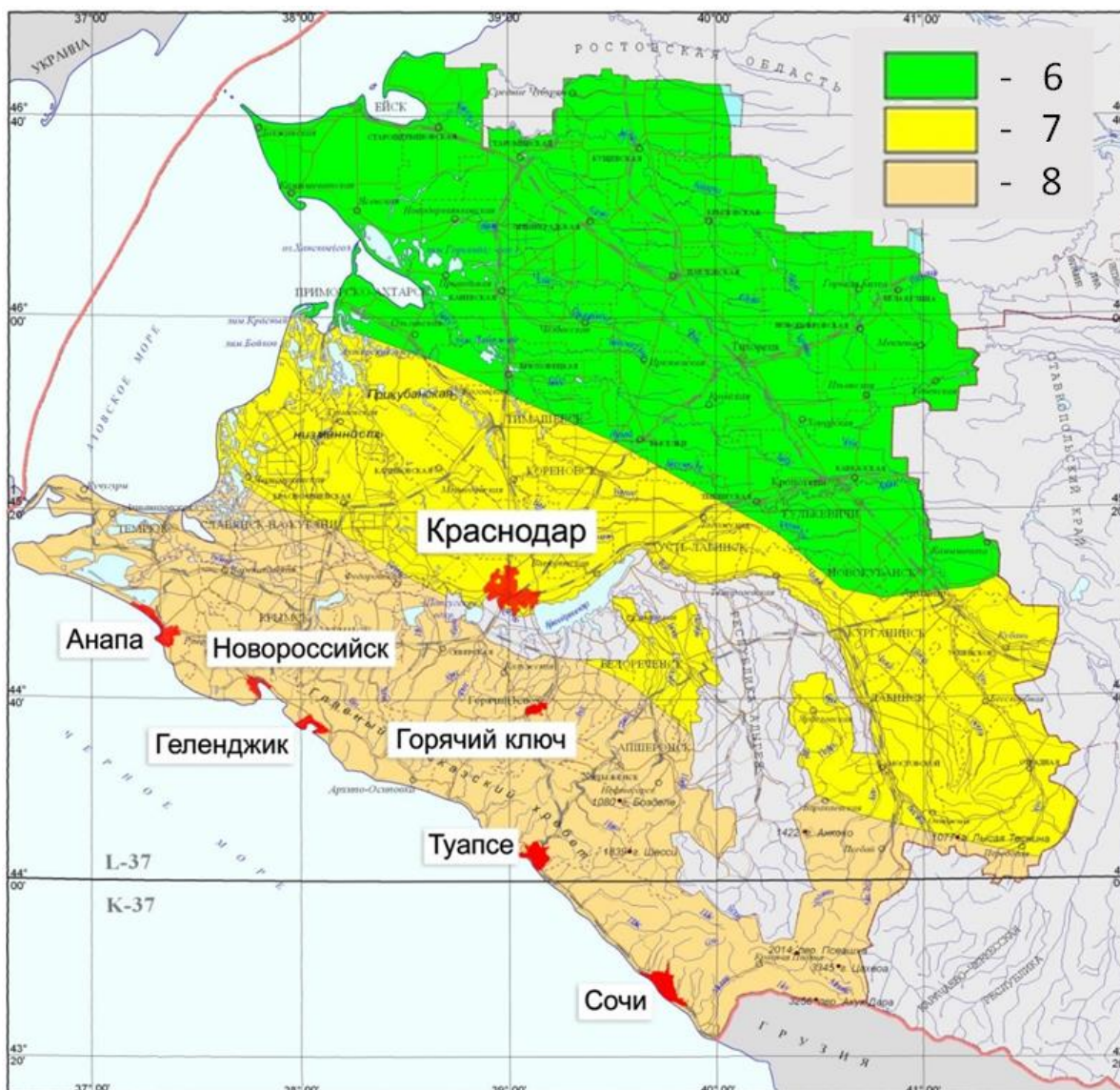


Рис. 2 – Карта сейсмического районирования территории Краснодарского края (ОСР – 2015 – А)

Несмотря на большое количество программных комплексов, реализующих различные модели грунта, результаты расчетов одной и той же задачи могут значительно отличаться в зависимости от интерпретации исходных параметров, а также квалификации выполняющего расчет инженера. Тем не менее любой предварительный расчет всегда является прогнозом, и должен быть подтвержден в процессе наблюдений за фактическими деформациями фундаментов.

На протяжении многолетних исследований нами были разработаны и усовершенствованы различные методы армирования неоднородных оснований: армирование основания при помощи буронабивных свай и

промежуточной подушки, армирование основания при помощи забивных свай и промежуточной подушки, армирование основания методом Jet grouting. Каждый метод был использован при строительстве высотных зданий в сейсмических районах, в настоящее время возведение зданий завершено, проводится периодический мониторинг для стадийного сопоставления с расчетными значениями.

В данной статье приведен практический опыт устройства армированного основания, выполненного с использованием коротких забивных свай заводского изготовления. Метод армирования основания при помощи забивных свай рассмотрен и реализован на примере строительства комплекса высотных зданий, расположенных на слабых грунтах (табл.1). Застройка участка включает три 25-этажных здания (рис.3а,б), на подошве фундамента которых формируется напряжение около 400 кПа (рис.4).



**Рис. 3 – Общий вид жилого комплекса «Дом Романовых» г. Краснодар (а);
Генеральный план участка (б)**

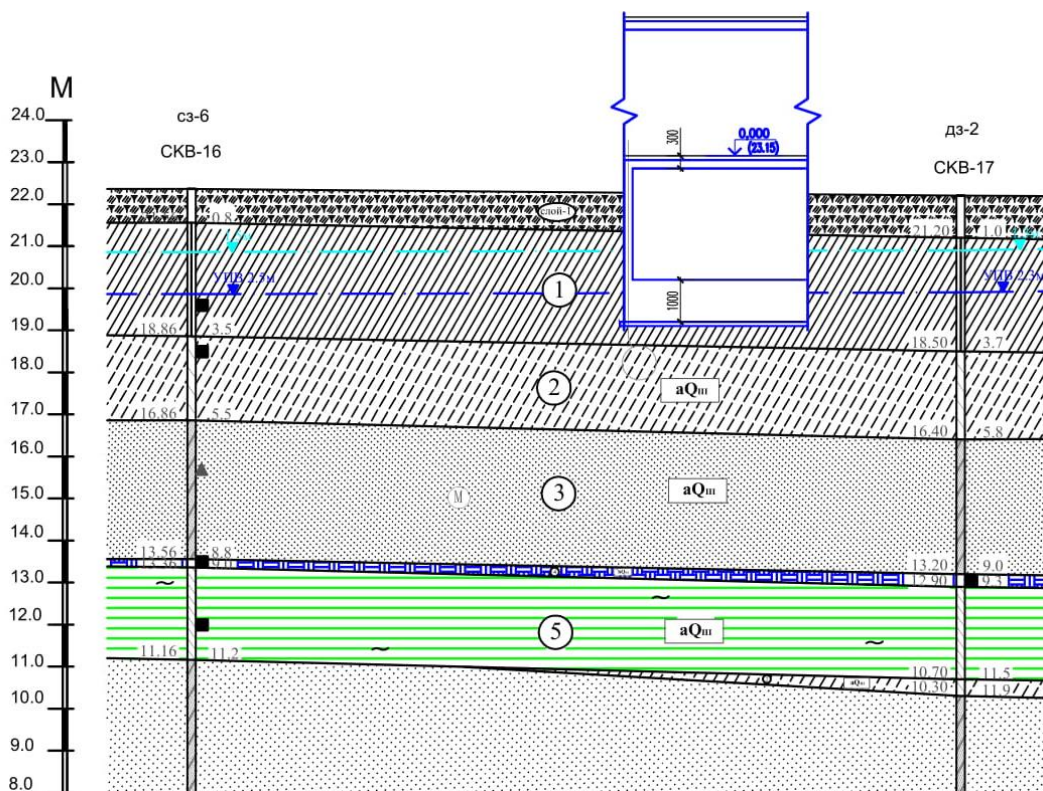


Рис. 4 – Характерный инженерно-геологический разрез площадки строительства жилого комплекса

Таблица 1

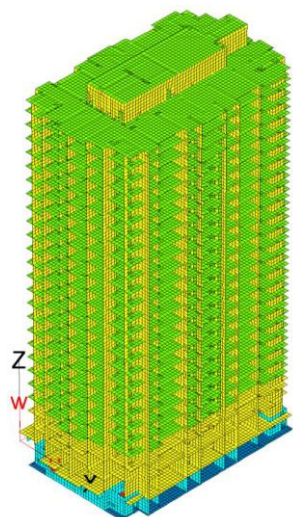
Сводная таблица физико-механических характеристик грунтов

№ ИГЭ	Номенклатура по ГОСТ 25100-2011	Плотность грунта г/см ³			Удельное сцепление, кПа			Угол внутреннего трения, градус			Компрессионный модуль деформации, МПа. (для песка по данным стат. зонд.)		Коэффициент Пуассона	Коэффициент пористости	Показатель текучести
		γ_n	γ_l	γ_{II}	C_n	C_l	C_{II}	ϕ_n	ϕ_l	ϕ_{II}	E_e	E_v			
1	Суглинок тяжелый пылеватый, тугопластичный, непросадочный	1,98	1,97	1,59	32,5	30,4	31,3	24,8	24,5	24,6	4,2	3,9	0,37	0,699	0,32
2	Супесь пылеватая, пластичная	1,90	1,89	1,89	18,3	17,9	18,1	27,2	27,0	27,1	4,8	-	0,35	0,786	0,37
3	Песок мелкий, средней плотности, насыщенный водой	1,99	1,98	1,99	-	-	-	31,5	31,0	31,2	24,7	-	0,30	0,679	-
4	Торф сильноразложившийся, высокозоновый	1,32	1,29	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,210	0,73
5	Глина легкая пылеватая, мягкопластичная, иловатая	1,91	1,91	1,91	53,1	25,8	26,2	13,4	13,1	13,2	1,7	-	0,42	0,900	0,54
6	Песок средней крупности, плотный, насыщенный водой, с включением гравия до 10%	2,05	2,04	2,05	-	-	-	35,2	34,9	35,0	36,8	-	0,30	0,518	-

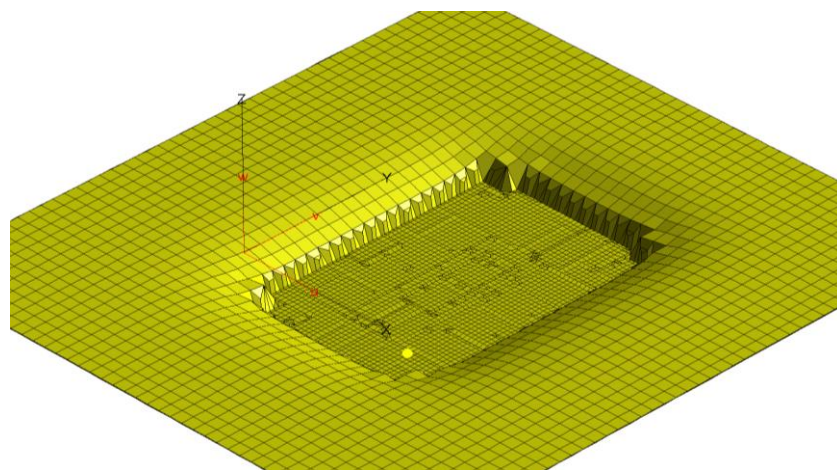
При оценке деформаций плитного фундамента [3-6] на естественном основании получено значение перемещений ≈ 540 мм (рис. 5б).

В связи с этим был произведен итерационный поиск технического решения армированного основания, и было принято решение произвести армирование с помощью коротких забивных свай, отделенных от фундаментной плиты за счет промежуточной подушки, помогающей минимизировать горизонтальное сейсмическое воздействие на головы забивных свай, а также достичь более равномерного распределения вертикальных усилий в армирующих элементах.

а)



б)



Максимальная деформация 539,34 мм

Рис. 5 – Конечно-элементная модель одной из секция жилого комплекса (а) и результаты расчетов плитного фундамента на естественном основании (б)

Эффект применения промежуточных подушек, расположенных над армированными массивами, описан в ряде научных работ [7-17]. В итоге, было принято техническое решение (рис. 6), оказавшееся наиболее эффективным из всех рассмотренных альтернативных методов усиления оснований.

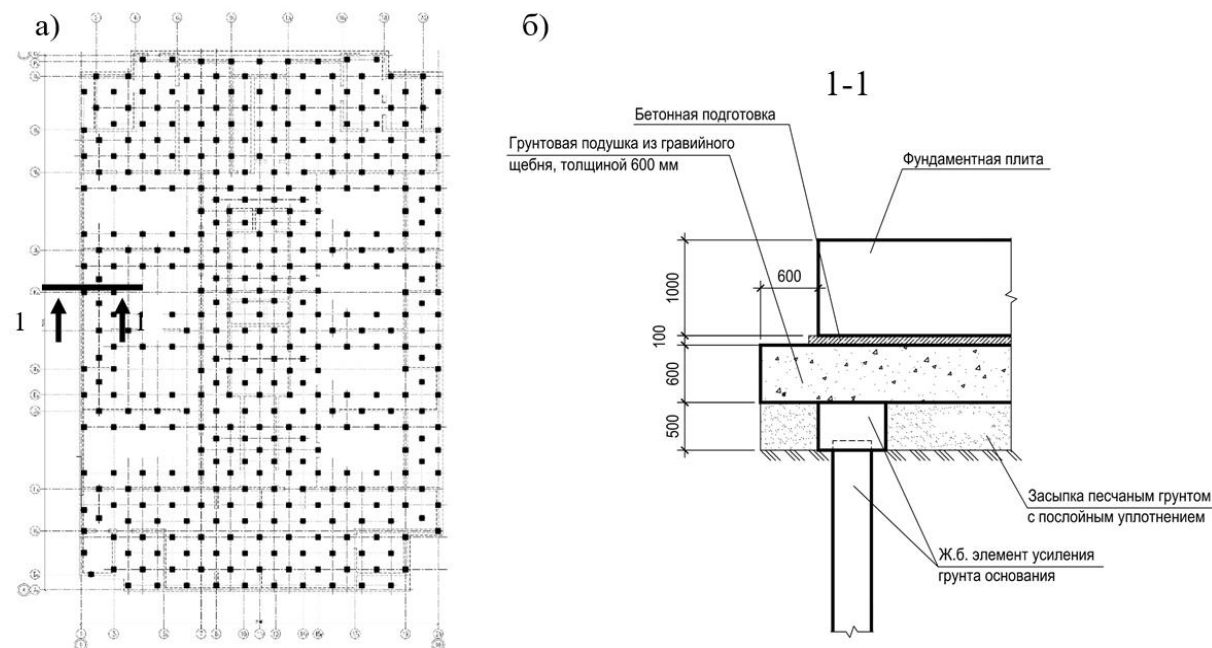


Рис. 6 – Схема расположения армирующих элементов в пределах фундаментной плиты высотного здания (а) и принципиальное техническое решение фундаментов жилого комплекса (б)

Однако ввиду недостаточной изученности применения выбранного метода была разработана и реализована программа натуральных испытаний фрагментов армированного основания, в ходе которой оценивалась фактическая несущая способность одиночного армирующего элемента, элемента в составе группы для оценки группового эффекта, а также влияние расстояния между осями армирующих элементов на работу группы. Кроме того, по результатам забивки тестовых площадок проведены дополнительные геофизические исследования, позволившие более корректно учесть сейсмические свойства грунтового массива. Тестовые площадки включали 49 (для площадки с 4d) и 81 свай (для площадки 3d) длиной 14 м сечения 400х400 мм (рис. 7). Последовательность натуральных испытаний свайных полей включала следующие этапы:

1. Забивка левого и правого вертикальных рядов свай (рис. 8а,б);
2. «Отдых» свайного поля. Продолжительность «отдыха» назначена в зависимости от состава, свойств и состояния прорезаемых грунтов и грунтов под нижним концом свай и составила не менее 10 сут;
3. Испытания свай вертикальной статической нагрузкой с целью уточнения расчетной несущей способности грунтов и анализ физико-механических свойств грунта в составе свайного поля;
4. Добивка остальных свай в пределах тестовых площадок;
5. Испытания свай вертикальной статической нагрузкой в составе выполненной группы свай. Первоначально выполняются испытания крайних свай, затем испытываются сваи, расположенные в середине площадки. Испытание грунтов выполнено статической вертикальной вдавливающей нагрузкой до 300 тс на натурную забивную сваю С140.40-9(И);
6. Выполнение геотехнических выработок с отбором образцов грунтов между сваями. Исследование физических и механических свойств

грунтов в грунтоведческой лаборатории в объеме достаточном для классификации по ГОСТ 25100-2011 и дальнейшего уточнения сейсмичности по СП 14.13330.2014;

7. Геофизические исследования с производством сейсмического микрорайонирования методом сейсморазведки в пределах опытных площадок для получения расчетной сейсмичности и акселерограмм сейсмических воздействий, спектров реакций геологической среды.

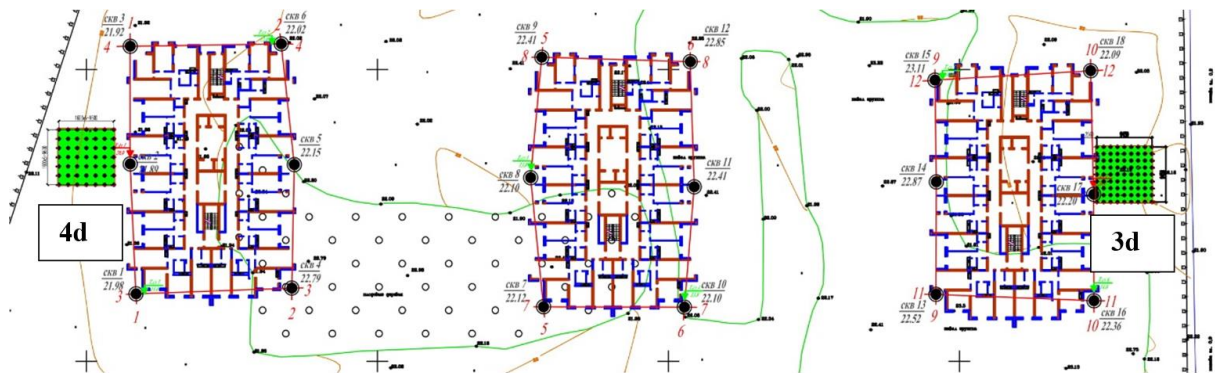


Рис. 7 – Схема расположения испытываемых площадок с регулярным армированием основания (слева шаг свай 4d, а справа – 3d)

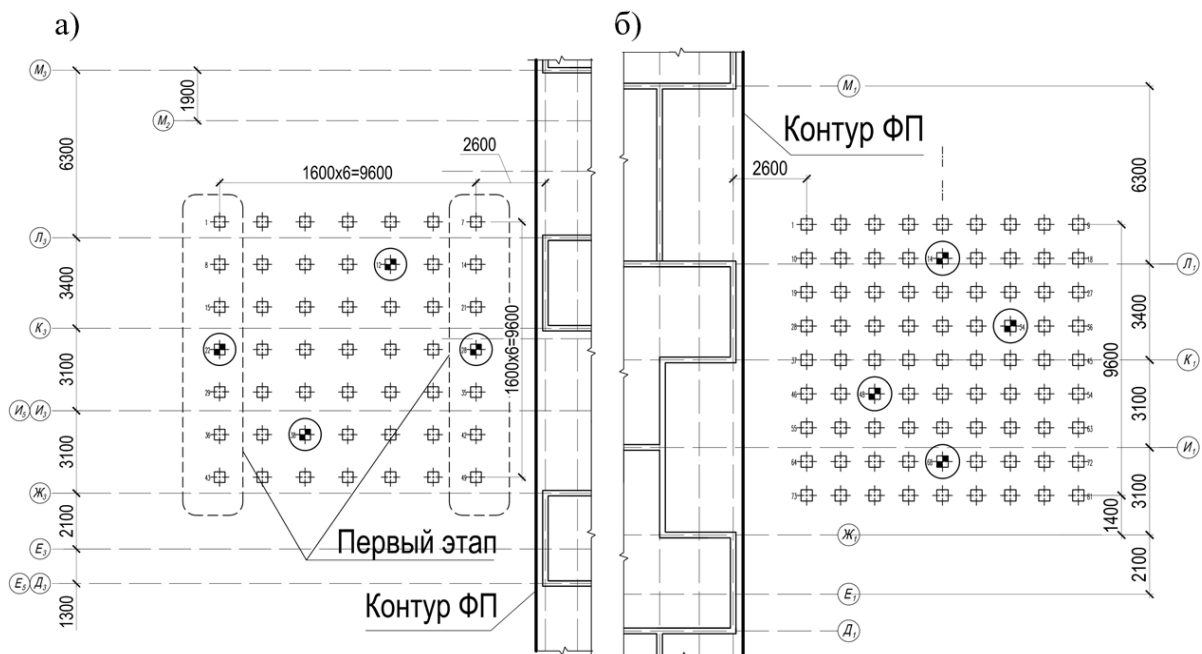


Рис. 8 – Схема расположения элементов армирования основания с шагом расстановки 4d (а) и 3d (б)

В результате натурных исследований статической вертикальной вдавливающей нагрузкой до 300 тс было проведено 8 опытов (рис. 9, 10).

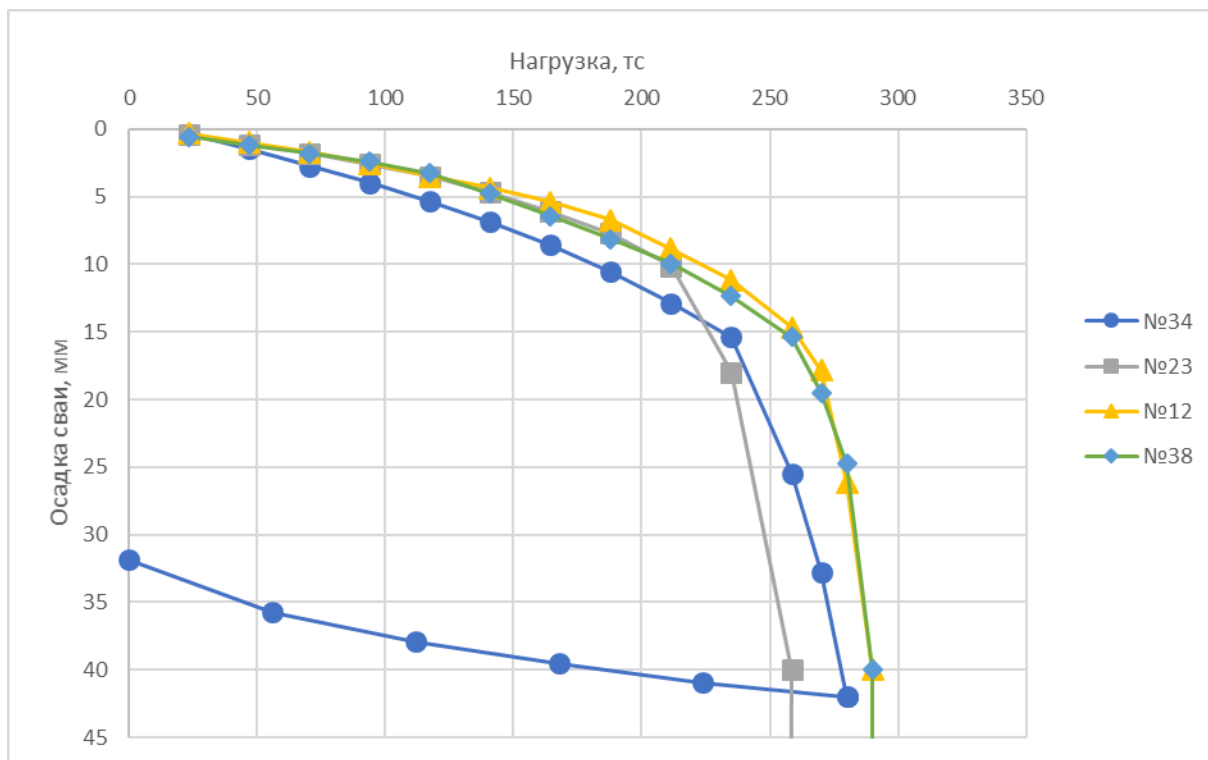




Рис. 11 – Этап массовой забивки свай. Справа показана ранее выполненная тестовая площадка

На рисунке 11 приведен общий вид свайного поля на этапе массовой забивки.

Сравнение различных вариантов фундаментов показало, что эффективность данного метода армирования оказалась в несколько раз выше решения с применением буронабивных свай.

Общие выводы

Плитный фундамент на армированном основании, выполняемый с использованием распределительной промежуточной подушки, является технологичным и экономичным для сейсмических районов. Его эффективность подтверждена результатами проведенных натуральных испытаний свай, а также данными выполненных геофизических исследований грунтов.

Список цитируемой литературы

1. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* / институт ОАО "НИЦ "Строительство". — Москва, 2014.
2. СНКК 22-301-2000 Строительство в сейсмических районах Краснодарского края / НТЦ ГеоПроект Кубанского Государственного аграрного университета. — Краснодар, Типография администрации Краснодарского края, 2002.

3. Шадунц, К.Ш. Плитные фундаменты многоэтажных зданий на просадочных грунтах / К.Ш. Шадунц, М.Б. Мариничев // Жилищное строительство. – 2003. – № 11. – С. 16–18.
4. Шадунц, К. Ш. К расчету зданий и сооружений на сложных, неравномерно сжимаемых основаниях / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 2. – С. 7–10.
5. Мариничев М. Б. Эффективные фундаментные конструкции в сложных грунтовых условиях / М. Б. Мариничев, К. Ш. Шадунц, А. Ю. Маршалка // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 2. – С. 34–36
6. Справочник геотехника: основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общей редакцией Ильичева В.А. и Мангушева Р.А. - М.: Изд-во АСВ, 2016 г.
7. Справочник проектировщика. Основания и фундаменты, подземные сооружения / Сорочан Е.А., Трофименков Ю.Г. — Москва, Россия, Стройиздат, 1985.
8. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Герсеванова. — Москва Госстрой, 1980.
9. Рекомендации по проектированию свайных фундаментов с промежуточной подушкой для зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах / НИИ оснований им. Герсеванова при уч.института "Фундамент-проект". — Кишинев, МолдавияЦК КП Молдавии, 1974.
10. Мирсаяпов И.Т., Попов А.О. Экспериментально-теоретические исследования работы армированных грунтовых массивов// Известия КазГАСУ, №2, Ост. 2008. — с. 75-80.
11. Патент РФ 2300604 Способ строительства свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев, В. А. Демченко. Оpubл. 07.10.2005
12. Патент РФ 2378454 Способ возведения свайно-плитного фундамента / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев. Оpubл.14.08.2008
13. Мариничев, М.Б. Разработка конструктивного решения вертикально армированного основания плитного фундамента высотного здания в сейсмическом районе / М. Б. Мариничев, И. Г. Ткачев // Материалы международной научно-технической конференции «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении». – Новочеркасск: Изд-во ИД «Политехник», 2015. – С. 272–281.
14. Мариничев, М.Б. 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(094). – IDA [article ID]: 0941310051. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/51.pdf>
15. Мариничев, М.Б. Опыт реализации нестандартных методов проектирования и строительства фундаментов высотных зданий в сейсмических районах /

М.Б. Мариничев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №01(125). С. 623 – 657. – IDA [article ID]: 1251701043. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/43.pdf>, 2,188 у.п.л.

- 16 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: ТГАСУ, 2017. – №2(061). – Режим доступа: http://www.tsuab.ru/upload/files/additional/2_2017_14_Marinichev_file_5189_4644_4039.pdf
17. Мариничев, М.Б. Особенности учета инженерно-геологического строения оснований пойменных территорий в сейсмических районах при выборе технических решений фундаментов высотных зданий / М.Б. Мариничев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – Пермь: ПНИПУ, 2018. – №1. – С. 103-113

© М.Б. Мариничев, И.Г. Ткачев, 2018