

УДК 624.15

UDC 624.15

05.00.00 Технические науки

05.00.00 Technical science

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ  
КОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТА ЗДАНИЯ С  
ВЫСОКИМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ ДЛЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА В СЕЙСМИЧЕСКОМ  
РАЙОНЕ****JUSTIFICATION OF RATIONAL  
FOUNDATION DESIGN FOR A BUILDING  
WITH A HIGH CENTER OF GRAVITY FOR  
CONSTRUCTION IN SEISMIC AREAS**

Мариничев Максим Борисович  
канд. техн. наук, доцент  
E-Mail: [m.marinichev@mail.ru](mailto:m.marinichev@mail.ru)  
Internet: [www.geo-technics.com](http://www.geo-technics.com)

Marinichev Maxim Borisovich  
Dr.Sci.Tech., assistant professor  
E-Mail: [m.marinichev@mail.ru](mailto:m.marinichev@mail.ru)  
Internet: [www.geo-technics.com](http://www.geo-technics.com)

Макушева Анна Владимировна  
магистрант инженерно-строительного факультета  
E-Mail: [makushevaav@yandex.ru](mailto:makushevaav@yandex.ru)

Makusheva Anna Vladimirovna  
postgraduate student of the Civil engineering and  
building faculty  
E-Mail: [makushevaav@yandex.ru](mailto:makushevaav@yandex.ru)  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

*Кубанский государственный аграрный универси-  
тет, Краснодар, Россия*

*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Объектом исследования являются фундаменты зданий с высоким центром тяжести, в частности фундаменты высотных зданий с развитыми за счет больших консольных выносов верхними этажами. Из совокупности воздействий, передаваемых на высотное здание с высоким центром тяжести, выделяются наиболее значимые, влияющие на распределение усилий в элементах фундамента. Выявляются факторы, играющие особую роль в выборе проектных решений фундаментов. Практическая значимость исследований обусловлена спросом на земельные участки в городах, где происходит освоение территорий, ранее считавшихся непригодными для застройки. На сегодняшний день одними из первостепенных задач для инженеров и архитекторов являются увеличение технико-экономических показателей объектов строительства и соблюдение требований заказчика в индивидуальной архитектуре. Вариантом увеличения технико-экономических показателей зданий в условиях плотной городской застройки является использование в их конструктивных решениях консольных конструкций, которые как в малоэтажном, так и в высотном строительстве позволяют не только добиться архитектурной привлекательности здания, но и значительно увеличить полезную площадь этажей. В ходе исследования запроектировано два типа конструкций фундамента для рассматриваемого объекта - восьмиэтажного жилого дома в грунтовых условиях г. Сочи. Расчеты проводились в ПК ING+. На основании результатов численного моделирования выполнен сопоставительный анализ работы свайно-плитного и плитного фундамента с учетом сейсмичности площадки строительства. Из двух рассмотренных типов фундаментов выявлен наиболее рациональный

The subjects of the study are the foundations of buildings with a high center of gravity, in particular, the foundations of high-rise buildings with developed upper floors due to the large consoles. From a set of loads, transferred to the high-rise building with a high center of gravity, we can highlight the most significant impacts, affecting the distribution of forces in the elements of the foundation. We reveal the factors playing a special role in the choice of design solutions for the foundations. The practical significance of this research is due to the demand for ground areas in the cities which are being developed, although they were previously considered unsuitable for construction. Today, one of the primary tasks for engineers and architects is increasing technical and economic performance of construction projects and meeting customers' requirements in the individual architecture. As a variant of increasing technical and economic performance of buildings in dense city building conditions is to use the arm structures in their design solutions that both low-rise and high-rise building can achieve the architectural attractiveness of the building and significantly increase the usable floor area. In the research, two types of the foundations were projected for the object which is an eight-apartment building in the ground conditions of Sochi. The analysis was carried out with such software as PC ING+. After receiving the results of numerical analyses we performed a comparative analysis of pile-slab and slab foundation with the seismicity of the construction site. Therefore, we have identified the most rational of two types of foundations

Ключевые слова: ЗДАНИЯ С ВЫСОКИМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ, СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ, ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ, РАЦИОНАЛЬНЫЙ ТИП ФУНДАМЕНТА

Keywords: BUILDINGS WITH A HIGH CENTER OF GRAVITY, SEISMIC ACTIVITIES, HORIZONTAL LOADS, RATIONAL FOUNDATION TYPE

## **Введение**

Целью работы являлся выбор рациональной конструкции фундамента здания с высоким центром тяжести для строительства в сейсмическом районе. Основными задачами являлись:

- обобщение методов проектирования зданий с высоким центром тяжести в сейсмических районах;
- проектирование и расчет двух вариантов фундаментов для рассматриваемого объекта - восьмиэтажного жилого дома в грунтовых условиях г. Сочи [4];
- выявление наиболее рациональной конструкции фундамента на основании результатов численного моделирования с использованием программных комплексов.

В мировой практике строительства известно множество зданий с применением консольных решений. Размеры строительной площадки в отдельных случаях имеют стесненные условия для полноценного проекта. Реализовать архитектурный замысел и, получив необходимые площади, добиться высоких технико-экономических показателей – одна из задач современного инженера.

Практическая значимость исследований обусловлена спросом на земельные участки в городах, где происходит освоение территорий, ранее считавшихся непригодными для застройки. На сегодняшний день одними из первостепенных задач для инженеров и архитекторов являются:

- увеличение технико-экономических показателей объектов строительства;
- соблюдение требований заказчика в индивидуальной архитектуре.

Вариантом увеличения технико-экономических показателей зданий в условиях плотной городской застройки является использование в их конструктивных решениях консольных конструкций, которые как в малоэтажном, так и в высотном строительстве позволяют не только добиться архитектурной привлекательности здания, но и значительно увеличить полезную площадь этажей [6].

### **1. Обзор методов проектирования зданий с высоким центром тяжести в сейсмических районах**

Применение консольных решений при проектировании зданий и сооружений предполагает устройство надземных конструкций (опор, стоек и др.) для косвенной передачи нагрузки на элементы фундамента.

Проектирование больших консольных выносов предполагает использование одной из 2-х видов конструктивных систем [5]:

- 1) Системы поддержки надземных строительных конструкций (рисунк 1):



**Рисунок 1 – Примеры применения систем поддержки надземных конструкций при высотном строительстве зданий в стесненных условиях**

Принцип работы систем поддержки: ядро высотного здания используется в нижних этажах в качестве основы для опорной конструкции, которая расширяется с увеличением высоты и тем самым образует платформу для верхних этажей.

При таком конструктиве горизонтальные нагрузки поглощаются непосредственно ядром. Эта концентрация нагрузок предполагает устройство центрально нагруженного фундамента, что значительно упрощает расчеты в сложных инженерно-геологических условиях.

2) Подвесные системы:

Все подвесные системы сначала передают горизонтальные нагрузки вверх в элементы покрытия, которые нагружают одно или несколько ядер жесткости здания. От них воздействие передается элементам фундамента. Концентрация нагрузок при одноядерной системе предполагает устройство центрально нагруженного фундамента. Многоядерные системы требуют, по крайней мере, столько же фундаментов, сколько и ядер жесткости.

**2. Инженерно-геологические условия площадки строительства**

Грунтовый массив сложен из инженерно-геологических слоев, характеристики которых представлены в табл. 1.

Площадка строительства располагается на оползневом склоне. Из неблагоприятных физико-геологических процессов на склоне отмечаются: крип, заболачивание, плоскостной смыв на незадернованных участках; быстрое выветривание коренных аргиллитов и алевролитов, а также набухающие свойства глинистых грунтов ИГЭ-1а, 3, 4.

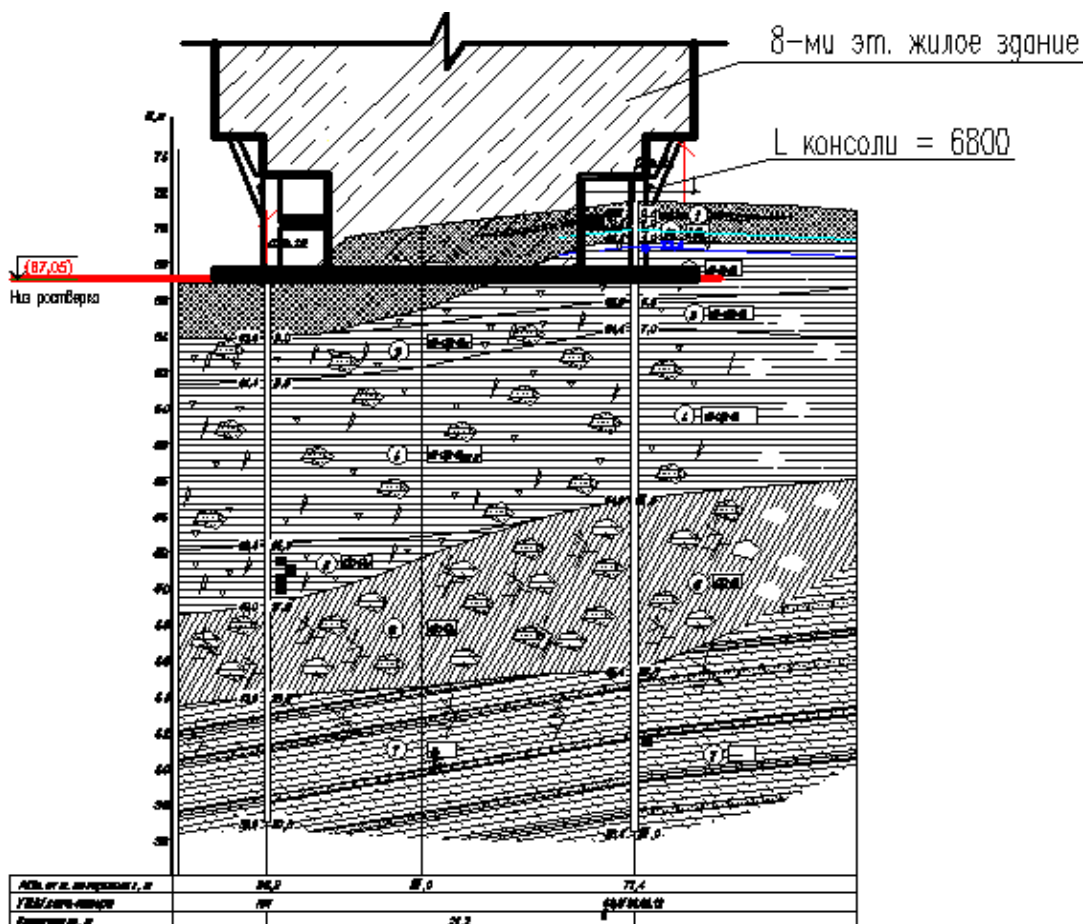


Рисунок 2 – Инженерно-геологический разрез площадки строительства

Таблица 1 – Состав и мощность грунтового массива

№ п/п	Полное наименование грунтов	Мощность, м
1	2	3
1	Насыпной слежавшийся неоднородный щебенистый грунт с суглинистым твердым заполнителем 30%	0,3-6,0
1a	Насыпной слежавшийся грунт: глина полутвердая сильнонабухающая	0,9-3,0
2	Глина тугопластичная со щебнем до 25%	0,3-3,5
3	Глина твердая средненабухающая с примесью органических веществ	1,3-14,0
4	Глина твердая слабонабухающая с примесью органических веществ, с глыбами прочного и выветрелого песчаника	0,4-11,5
5	Глина твердая с примесью органических веществ	3,4
6	Суглинок твердый с глыбами аргиллита плотного очень низкой прочности размягчаемого, нерастворимого и песчаника очень плотного прочного неразмягчаемого (смещенные пакеты)	2,3-17,1

### **3. Расчет и конструирование вариантов фундаментов восьмиэтажного жилого дома в грунтовых условиях г. Сочи**

При конструировании фундаментов рассматриваемого здания (рисунок 2) необходимо было учесть ряд осложняющих факторов:

- высокая сейсмическая активность участка строительства (9 баллов);
- откосные и оползневые процессы на площадке строительства (участок работ располагается на оползневом склоне и предполагает устройство глубокого котлована);
- высокий центр тяжести здания ввиду его нерегулярной архитектурной формы (форма здания в плане обусловлена потребностью заказчика в индивидуальной архитектуре);
- необходимость устройства деформационного шва из-за большой длины здания в плане (64,6м.).



**Рисунок 3 - Рассматриваемый объект– 8-ми этажное жилое здание в г. Сочи**

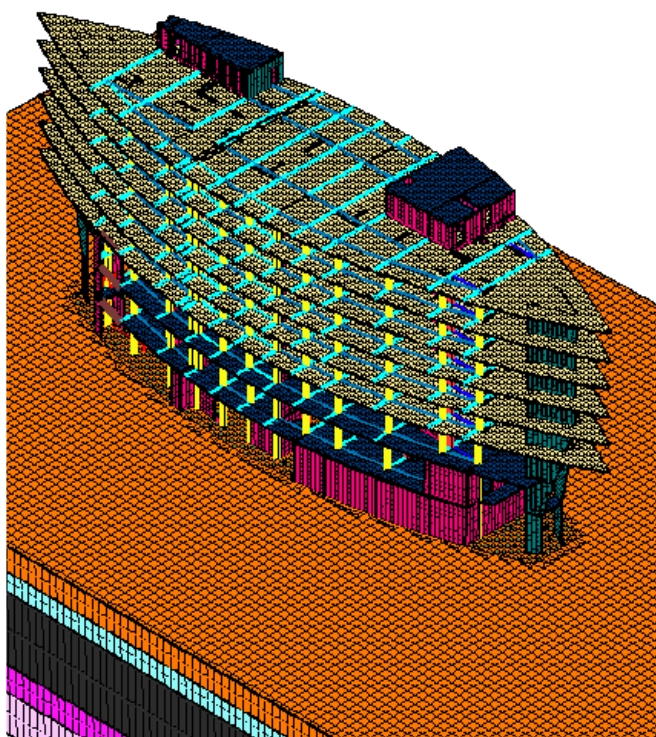


В связи с осложняющими факторами и потребностью в индивидуальной архитектуре при конструировании фундамента необходимо предусмотреть возможность восприятия фундаментом (в частности свайным) и элементами стилобатных этажей больших поступательных и вращательных воздействий. Также необходимо обеспечить формирование классических первых форм колебаний здания с учетом применения антисейсмических швов.

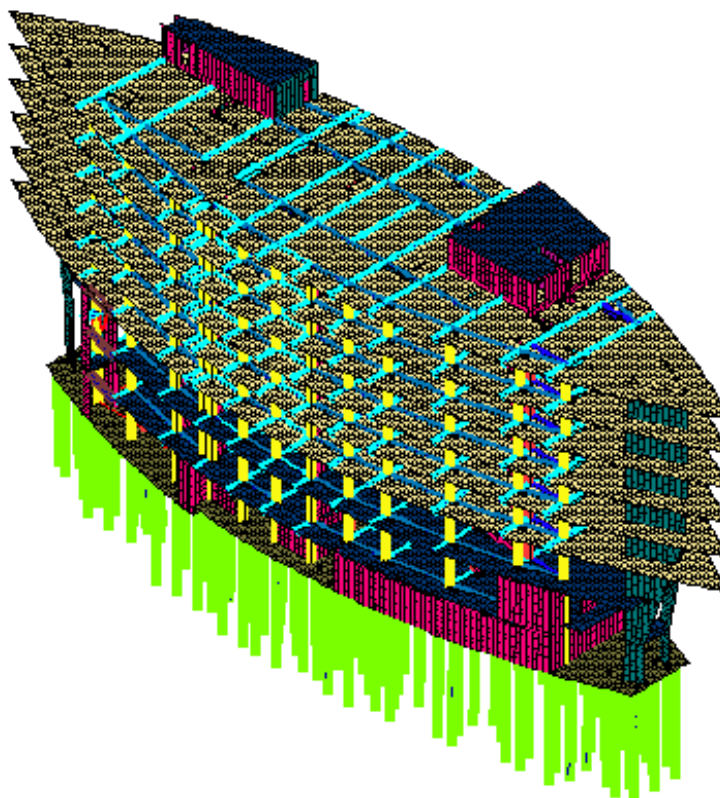
Для реализации поставленных задач использовался программный комплекс «Ing+ 2012». Расчетная модель подробно описывает конструктивные решения здания, в том числе с учетом грунтовых условий. Целью расчета является получение данных для конструирования несущих элементов здания.

Предполагаемый тип фундамента – монолитная плита толщиной 800 мм или свайное поле объединенное ростверком, заглубление свай в коренные породы – 2,0 м. Предполагаемая нагрузка на сваю в составе фундамента – до 1800 кН [1, 2].

а)



б)



а - на грунтовом основании;

б - с разбивкой на материалы

**Рисунок 4 - Конечно-элементная модель здания**

Все нагрузки от собственного веса конструкций в расчетной модели учитываются автоматически. Нагрузка от наружного стенового заполнения учтена в расчетной модели как линейная нагрузка.

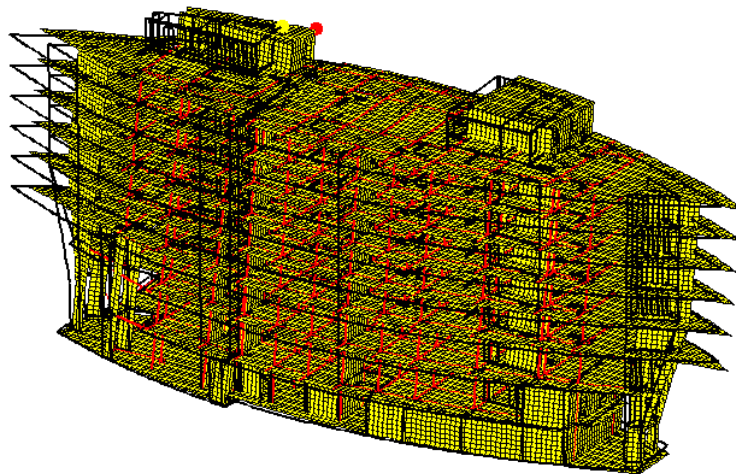
При статическом расчете были учтены следующие нагружения:

- НГ1 – постоянная нагрузка (собственный вес конструкций, вес конструкций полов, стен, перегородок, кровли);
- НГ2 – полезная нагрузка;
- НГ3 – постоянная от обратной засыпки грунтом;
- НГ4 – снеговая нагрузка;
- НГ5...НГ10 - квазистатическое нагружение, сейсмическое воздействие S1 (поступательное сейсмическое воздействие в направлении первой формы собственных колебаний);



-НГ11...НГ15 - квазистатическое нагружение, сейсмическое воздействие S2 (поступательное сейсмическое воздействие в направлении второй формы собственных колебаний);

-НГ21 ,22 – квазистатическое нагружение, сейсмическое воздействие S3 (вращательное сейсмическое воздействие в направлении первой формы собственных колебаний);



Мах.деформация = 223.238 mm в узле = 60153

**Рисунок 5 - Визуализация деформаций по комбинациям нагрузок для варианта с применением типа фундамента – фундаментная плита**

Для анализа напряженно-деформированного состояния заданы следующие комбинации:

-К1 - (НГ1+НГ2+НГ3+НГ4);

-К2\* - (0,91НГ1+0,83НГ2+0,87НГ3+0,6НГ4+(НГ5...НГ10));

-К3\* - (0,91НГ1+0,83НГ2+0,87НГ3+0,6НГ4+(НГ11...НГ15));

-К4\* - (0,91НГ1+0,83НГ2+0,87НГ3+0,6НГ4+(НГ21...НГ22));

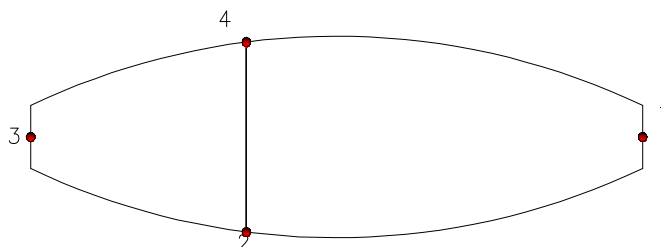
-К5\* - (0,91НГ1+0,83НГ2+0,87НГ3+0,6НГ4-(НГ21...НГ22));

\* - нелинейные комбинации по СНиП

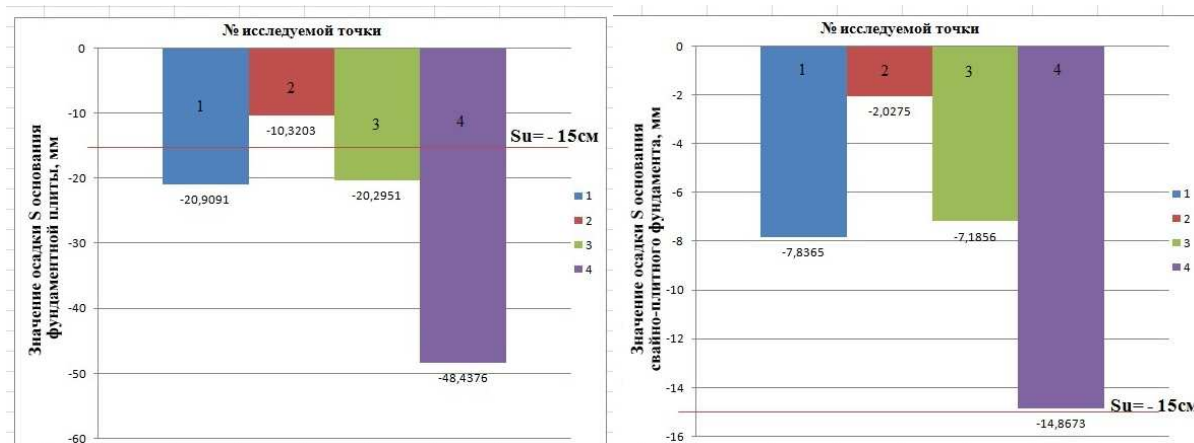
В случае с плитным типом фундамента, по результатам анализа напряженно-деформированного состояния были получены недопустимые

значения деформаций конструкций консольных выступов и осадки основания фундаментной плиты [3].

Сравнительный анализ деформаций конструкций подготовлен в программе «Microsoft Excel 2007» и представлен в графическом виде.



**Рисунок 6 - Исследуемые точки фундаментной плиты/ плитного ростверка**



**Рисунок 7 - Гистограмма осадки S основания фундаментной плиты и свайно-плитного фундамента (справа) в комбинации К1 (линейная)**

По СП 45.13330.2012 максимально допустимая осадка  $S_u=15\text{см}$

Вариант на плите:

Вариант на сваях:

№ точек	S, мм	
	Комбинация К1	Комбинация К5
1	-20,9091	-30,2681
2	-10,3203	-34,4037
3	-20,2951	-32,2409
4	-48,4376	-75,4394

№ точек	S, мм	
	Комбинация К1	Комбинация К5
1	-7,8365	-9,8463
2	-2,0275	-10,8639
3	-7,1856	-9,9783
4	-14,8673	-13,739

Анализ усилий в сваях в различных сейсмических условиях (7 и 9 баллов) подготовлен в программе «Gen3\_dim» и представлен в табличном виде. Таблицы составлены для максимальных значений усилий в сваях в комбинациях нагрузжений К1 и К2.

**Таблица 2 - Анализ усилий в сваях в различных условиях сейсмичности**

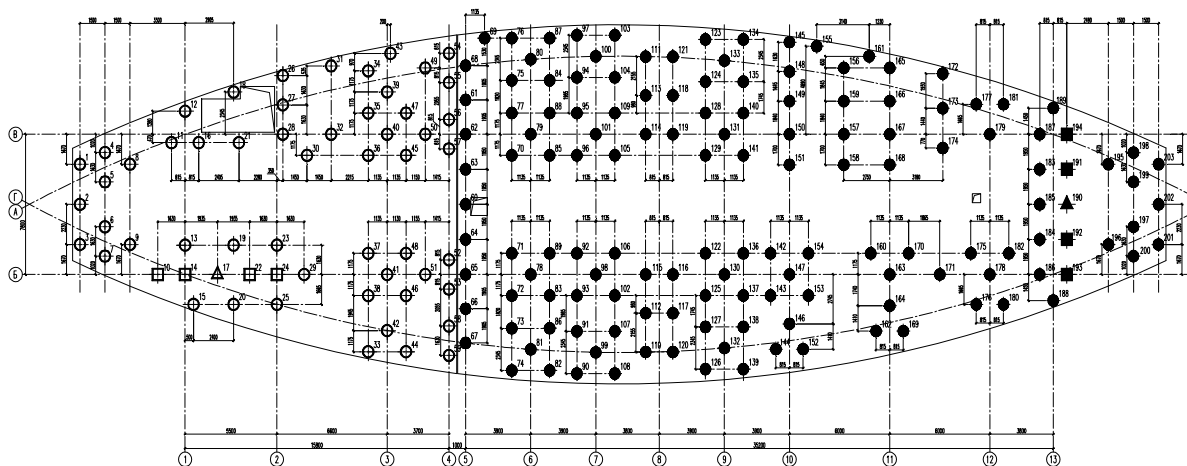
№ п\п	Нагружение	N <sub>Max</sub> , кН	
		7 баллов	9 баллов
1	К1	-193,0465	-444.001
2	К2	-156,1739	-359.269

№ п\п	Нагружение	Q <sub>S</sub> Max, кН	
		7 баллов	9 баллов
1	К1	74,767	104.582
2	К2	164,1658	229.824

№ п\п	Нагружение	Q <sub>t</sub> Max, кН	
		7 баллов	9 баллов
1	К1	45,1454	63.2337
2	К2	75,4478	105.627

По результатам анализа можно отметить, что величина продольных и поперечных сил в элементах фундамента напрямую зависит от сейсмичности района строительства.

По итогам проделанной работы, здание решено с применением заземленных в коренные породы на расчетную глубину буроинъекционных свай Ø630мм длиной от 11 м, изготавливаемых по технологии CFA, устраиваемых в грунте под высоким избыточным давлением бетона (без использования обсадных труб).



**Рисунок 8 – Схема расположения свай**

В процессе исследования проведен визуальный контроль этапов возведения объекта.

а)



б)



а – устройство подготовки под фундамент, май 2013г, и армирование стен цокольного этажа, сентябрь 2013г (справа)

б – состояние объекта на 08.06.2014г.

**Рисунок 9 – Контроль этапов возведения объекта**

## Выводы

С целью получения данных для конструирования несущих конструкций и дальнейшего выбора рационального фундамента для объекта исследования – восьмиэтажного жилого дома высотой 29,4 метра в грунтовых условиях г. Сочи, была подготовлена расчетная модель здания с использованием программного комплекса «Ing+».

Типы рассмотренных конструкций фундамента:

- 1– фундаментная плита;
- 2 – свайно-плитный фундамент.

По результатам расчета в совокупности с анализом инженерно-геологических условий площадки установлено, что рационально в данном случае применить второй тип конструкции фундамента по ряду причин:

- инженерно-геологические изыскания выявили специфические набухающие свойства верхней толщи грунтов. При свайно-плитном варианте фундаментов, с учетом прорезки техногенных и набухающих грунтов, их специфические особенности не будут оказывать влияние на конструктивные проектные решения;
- способность фундаментной плиты воспринимать большую горизонтальную нагрузку в связи с высокой сейсмичностью площадки строительства, по итогам статического расчета, оказалась недостаточной;
- деформации консольных конструкций зданий при плитном варианте фундамента, выявленные по результатам статического анализа, имеют недопустимые значения.



### **Библиографический список:**

1. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2010.
2. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов. – М.: Госстрой России, 2004.
3. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2011.
4. СНКК 22-301-2000 Строительство в сейсмических районах Краснодарского края. – Краснодар: департамент по строительству и архитектуре Краснодарского края, 2001.
5. Eisele J., Kloft E. High-Rise Manual. Typology and Design, construction and technology. – Birkhauser, 2002.
6. Мариничев М.Б., Маршалка А.Ю. Реализация нестандартных конструктивных решений в высотном строительстве на основе использования современных буровых технологий. - Научный журнал КубГАУ, №54(10), 2009

### **References**

1. SP 24.13330.2011 Svajnye fundamenty. – M.: NIIOSP im. N.M. Gersevanova, 2010.
2. SP 50-102-2003 Proektirovanie i ustrojstvo svajnyh fundamentov. – M.: Gos-stroj Rossii, 2004.
3. SP 22.13330.2011 Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij. – M.: NIIOSP im. N.M. Gersevanova, 2011.
4. SNKK 22-301-2000 Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah Krasnodarskogo kraja. – Krasnodar: departament po stroitel'stvu i arhitekture Krasnodarskogo kraja, 2001.
5. Eisele J., Kloft E. High-Rise Manual. Typology and Design, construction and technology. – Birkhauser, 2002.
6. Marinichev M.B., Marshalka A.Ju. Realizacija nestandartnyh konstruktivnyh reshenij v vysotnom stroitel'stve na osnove ispol'zovanija sovremennyh bu-rovnyh tehnologij. - Nauchnyj zhurnal KubGAU, №54(10), 2009