

Скальные грунты. От свай - стоек до висячих. Башня One Tower - новая высота Москва - СИТИ



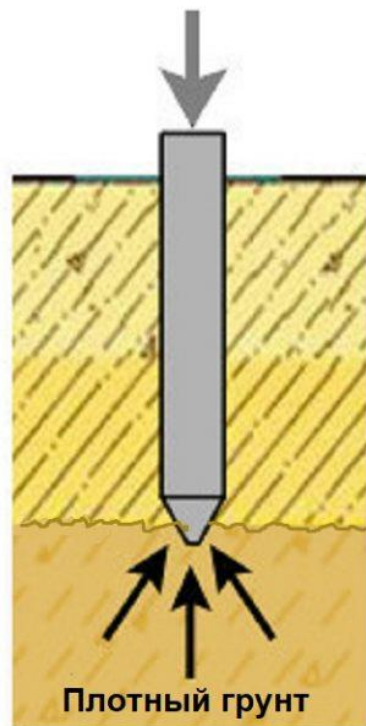
Докладчик: Шулятьев Олег Александрович, заместитель директора по научной работе НИИОСП им. Н.М. Герсевича, к.т.н., почетный строитель Москвы и России, член президиума Российского Общества по Механике грунтов, Геотехнике и Фундаментостроению (РОМГГиФ) и Международного Общества по Механике грунтов и Геотехнике (ISSMGE), Москва



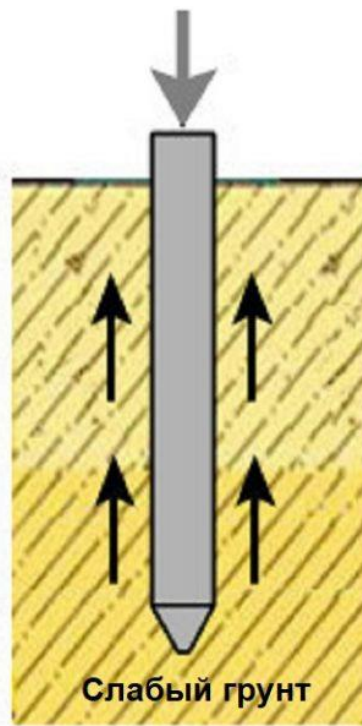
План

- 1. Требования норм*
- 2. Испытания грунта сваями*
 - 2.1. Методика*
 - 2.2. Результаты*
 - 2.3. Работа свай по боковой поверхности и по нижнему концу*
- 3. Результаты мониторинга*
- 4. Москва – СИТИ. One Tower – новая высота.*

1. Требования норм



Свая-стойка



Висячая свая

- Согласно п. 6.2 СП 24.13330.2016г. по условиям взаимодействия с грунтом сваи следует подразделять на сваи-стойки и висячие (сваи трения).
- Сваи в скальных грунтах должны рассчитываться как сваи-стойки

Причины

1. Высокая **жесткость скального грунта**, исключающая перемещение сваи относительно грунта.
2. **Проскальзывание сваи** по глинистой корочке, которая образуется на границе со скальным грунтом вследствие изготовления буронабивной сваи под бентонитовым раствором или под водой с продуктами бурения (глинистыми и пылеватыми частицами, находящимися во взвешенном состоянии).

Расчет сваи-стойки

Расчетное сопротивление скального грунта R для набивных и буровых свай и свай оболочек, заполняемых бетоном и заделанных в невыветрелый скальный грунт (без слабых прослоек) не менее чем на 0,5 м, определяется по формуле

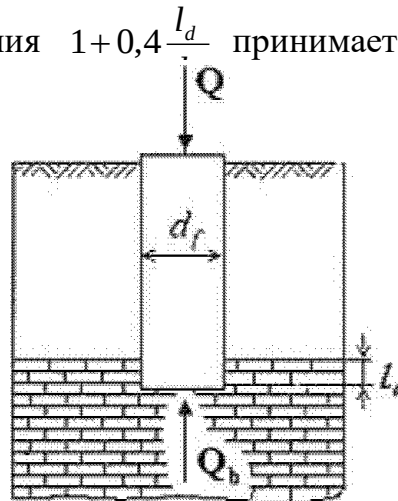
$$R = R_m \left(1 + 0,4 \frac{l_d}{d_f} \right), \quad (7.8)$$

где R_m определяется согласно (7.7);

l_d - расчетная глубина заделки набивной и буровой сваи и сваи-оболочки в скальный грунт, м;

d_f - наружный диаметр заделанной в скальный грунт части набивной и буровой свай и сваи-оболочки, м.

Значение фактора заглубления $1 + 0,4 \frac{l_d}{d_f}$ принимается не более 3.



Q - вертикальная нагрузка на сваю; Q_b - вертикальная нагрузка, воспринимаемая пятой сваи, $Q = Q_b$

Рисунок 1а - опирание сваи на скальный грунт

Расчет висячей сваи

Б.1. Несущая способность F_d набивной, буровой сваи и сваи-оболочки, заполняемой бетоном, прорезающей толщу неветрелых скальных грунтов, определяется с учетом расчетного сопротивления грунтов основания на ее боковой поверхности (рисунки Б.1, Б.2).

В случае прорезания значительной толщи скальных грунтов вклад сопротивления грунта на боковой поверхности сваи может составить до 90% от полной нагрузки, воспринимаемой свайей. В этом случае допускается принимать

$$F_d = F_{ds}, \text{ (Б.1)}$$

где F_{ds} - несущая способность сваи с учетом только сопротивления скальных грунтов на ее боковой поверхности, определяемая по формуле

$$F_{ds} = u \cdot \sum R_{si} \cdot h_i, \text{ (Б.2)}$$

где u - наружный периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

R_{si} - расчетное сопротивление i -го слоя скального грунта на боковой поверхности сваи, кПа;

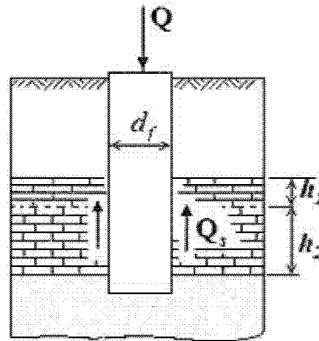
h_i - толщина i -го слоя скального грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м.

Расчетное сопротивление R_{si} слоя скального грунта на боковой поверхности сваи определяется по формуле

$$R_{si} = 0,63 \sqrt{p_a R_{ci}}, \text{ (Б.3)}$$

где $p_a = 100$ кПа;

R_{ci} - расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие i -го слоя скального грунта в водонасыщенном состоянии, кПа.



Q - вертикальная нагрузка на сваю; Q_s - вертикальная нагрузка, воспринимаемая боковой поверхностью сваи, $Q = Q_s$; $h_1, h_2, \dots, h_n$ - толщина слоев скального грунта

Рисунок Б.1 - Прорезание свайей толщи скальных грунтов

Формула Б.3 была получена в исследовании (Kulhawy, et al., 1993) как для нижней границы эмпирических данных (Rowe, и др., 1984)

2. Испытания грунта сваями

2.1. Методика

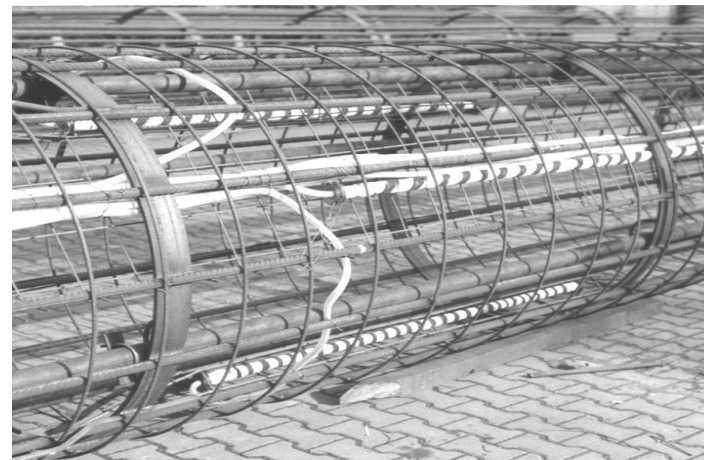
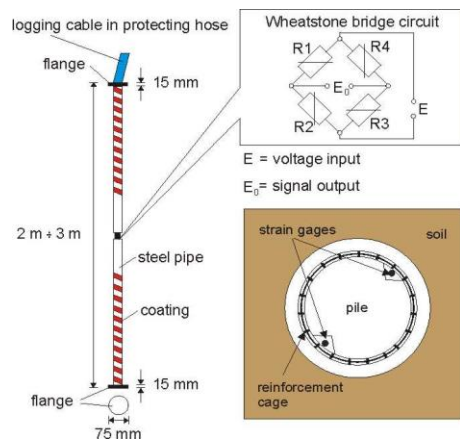
Испытание свай опускными домкратами методом Остерберга



Испытание свай опускными домкратами методом Остерберга



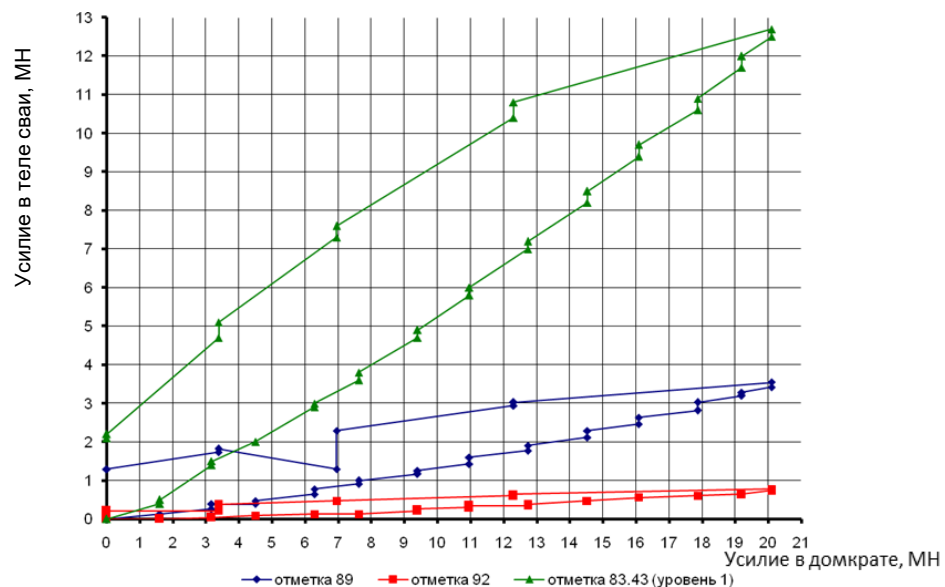
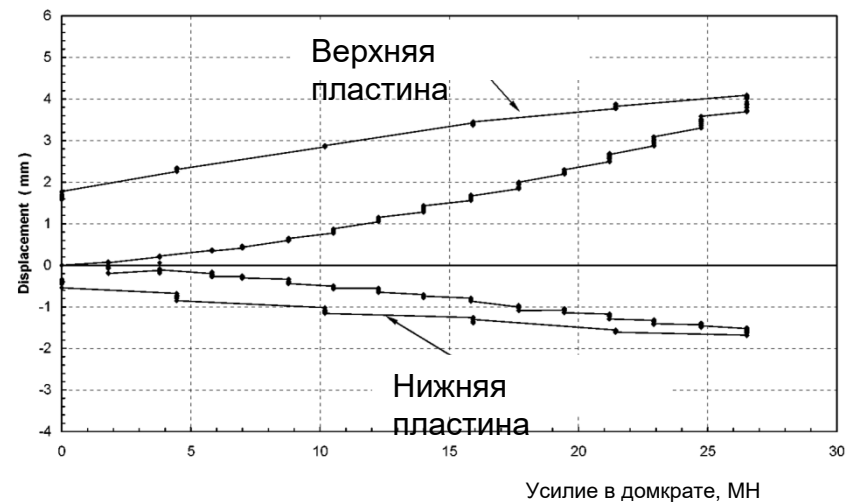
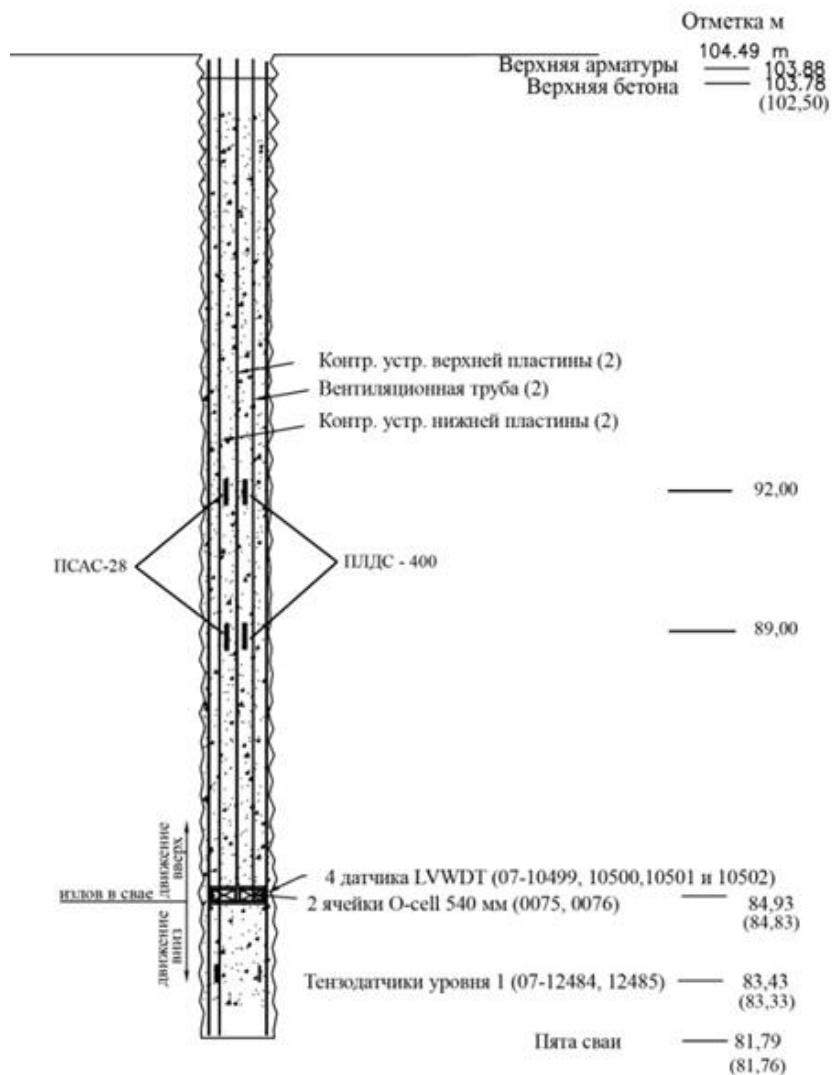
Оснащение сваи датчиками измерения напряжения в бетоне



2. Испытания грунта сваями

2.2. Результаты

Испытания свай на участке 11 Москва - СИТИ

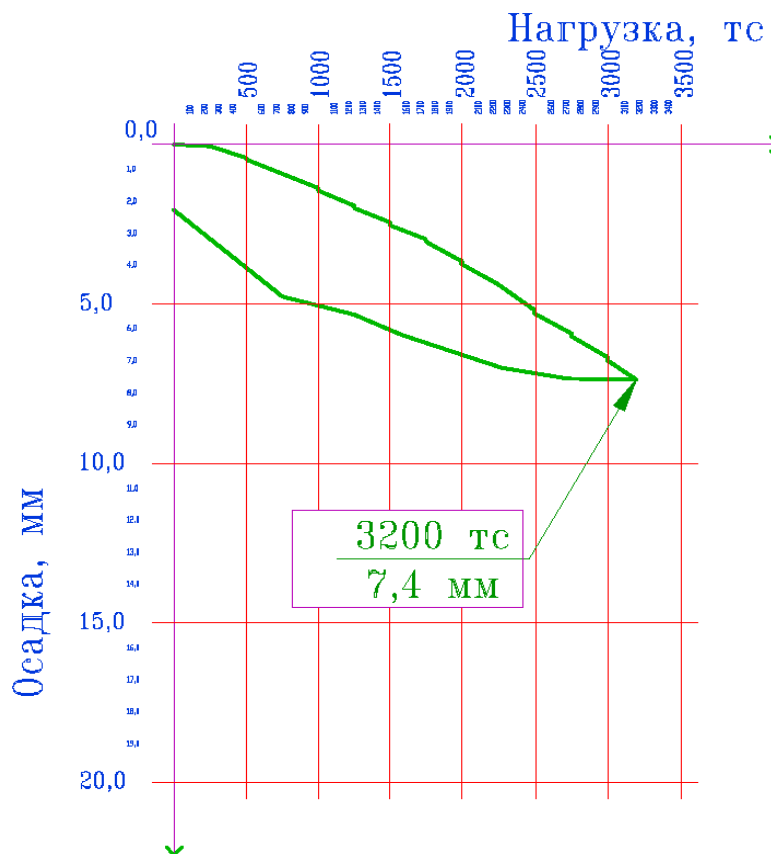


Результаты определения сопротивления скального грунта по боковой поверхности свай

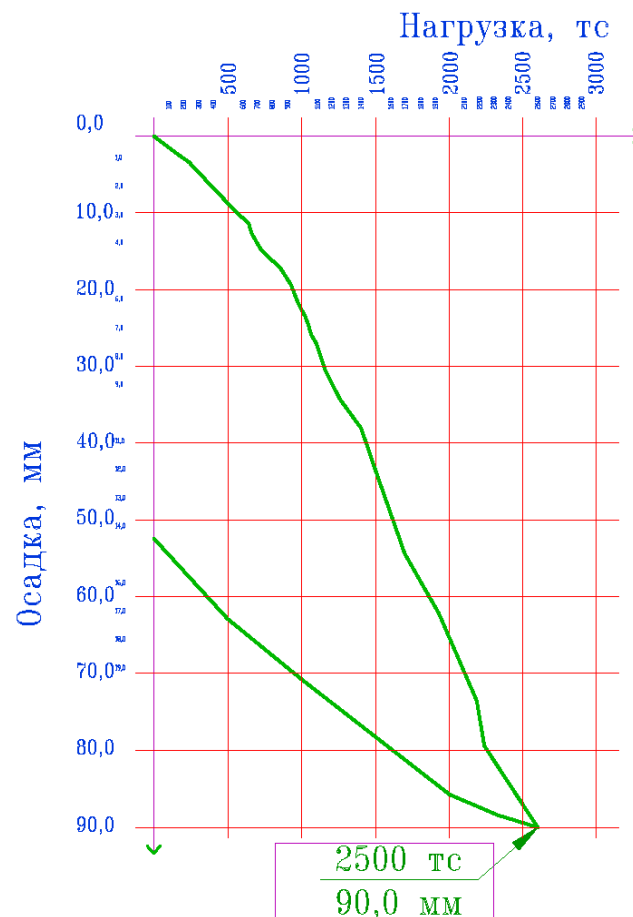
Участок строительства	Параметры свай		Макс. нагр., тс	Макс. перем., верх/низ, мм	Метод определения сопротивления на бок. пов-ти	Сопротивление по бок. пов-ти свай, тс/м ²
	Ø, м	L, м				
Москва-Сити – 1 участок	1,5	7,7...10,7	3600	4,4...7,1	Д	100...71
Москва-Сити – 1 участок	1,0	7,7...10,7	3600	7,5...14,3	Д	149...107
Москва-Сити – 3 участок (1)	1,2	28	2000	3,1/1,5	Д	120
Москва-Сити – 3 участок (2)	1,2	28	2000	1,8/2,5	Д	120
Москва-Сити – 4 участок (1)	1,2	28,6	2650	4,1/1,7	Д	
Москва-Сити – 4 участок (2)	1,2	28,0	2450	3,4/1,4	Д	
Москва-Сити – 11 участок (1)	1,2	22,6	2000	1,8/2,1	Д	130
Москва-Сити – 11 участок (2)	1,2	22,6	1650	1,0/1,5	Д	180
Москва-Сити – 12 участок	1,5	10,5	3330	3,2/7,5	Д,Ф(4)	255 (155)*
Москва-Сити – 13 участок А	1,2	27	3333	6,1/3	Ф(6)	200
Москва-Сити – 13 участок Б	1,2	29,7	2513	17/6	Ф(3)	220
Москва-Сити – 14 участок (1)	1,5	19,2	3333	8/65	Д	200
Москва-Сити – 14 участок (2)	1,5	19,2	3333	16/4	Д	190
Москва-Сити – 15 участок (1)	1,5	20,4	1350	4/150	Д	200
Москва-Сити – 15 участок (2)	1,5	19,4	3333	10/10	Д	200
Москва-Сити – 16 участок (1)	1,5	24,3	3000	8,3**	Ф(19)	33
Москва-Сити – 16 участок (2)	1,5	24,3	3200	7,2**	Ф(19)	36
Москва-Сити – 17 участок (1)	1,5	22	5550	27/13	Д	485/99***
Москва-Сити – 17 участок (2)	1,5	22	5500	45/7	Д	539/198***
Москва-Сити – 17 участок (3)	1,5	22	5000	25/22	Д	325/90***
Москва, Филевский парк	1,5	≈20	3000	10...21	Д	96...175
Екатеринбург	0,6	11...29	750	11,4...111,2	Д	40,6...147,8

2.3. Работа свай по боковой поверхности и по пяте

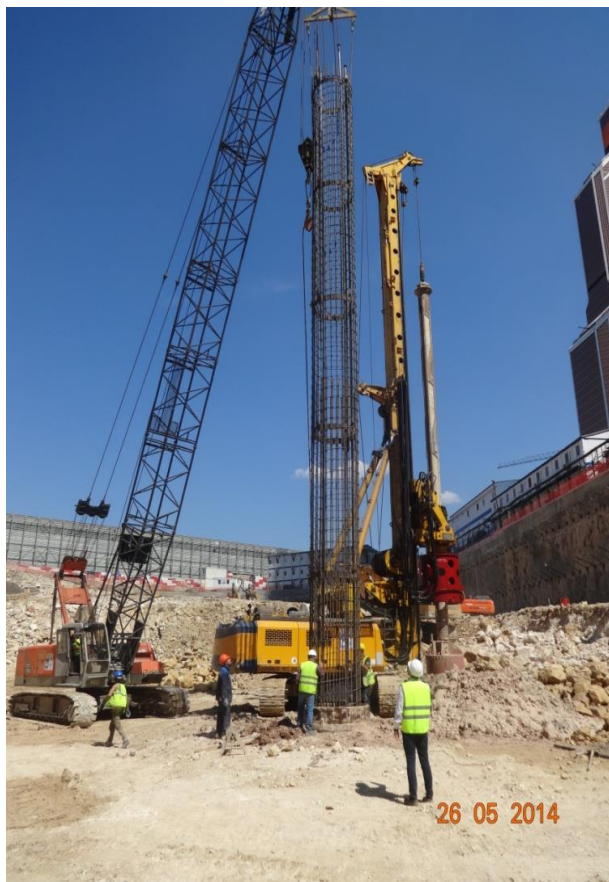
По боковой поверхности



По пяте

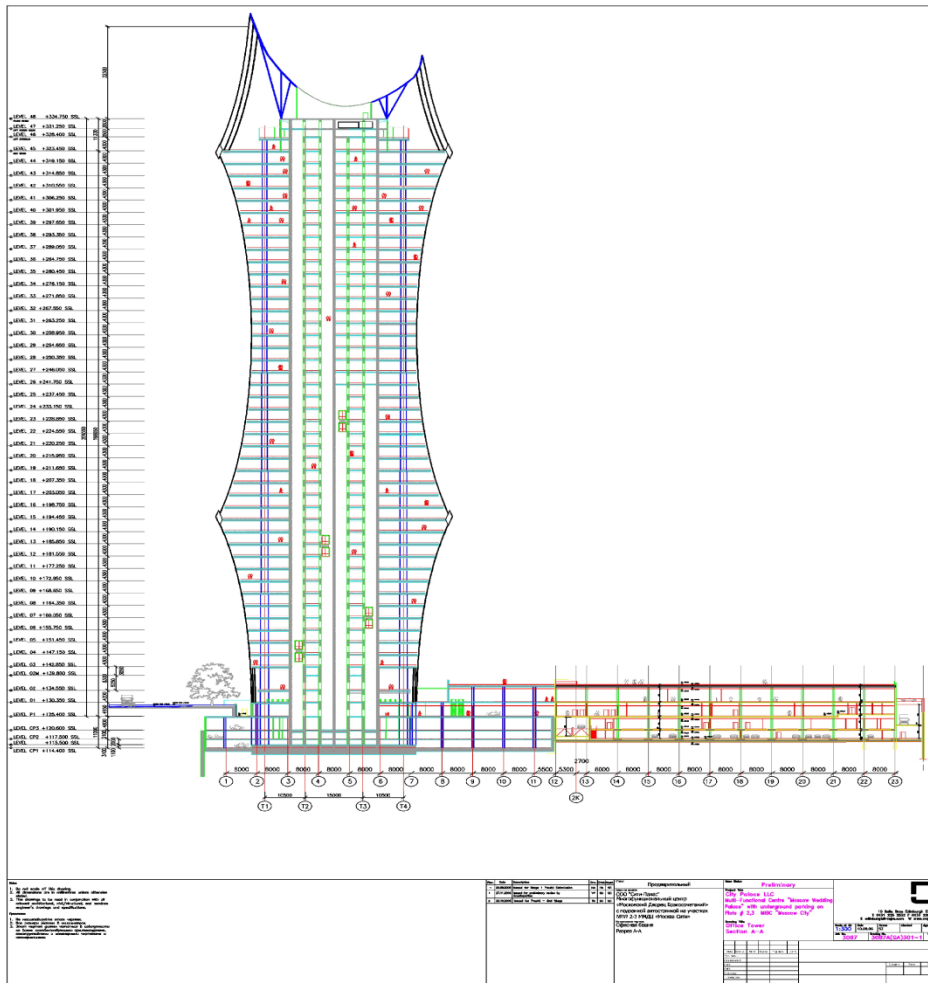


Отработка технологии по устройству буронабивных свай на 17-18 участках Москва-СИТИ



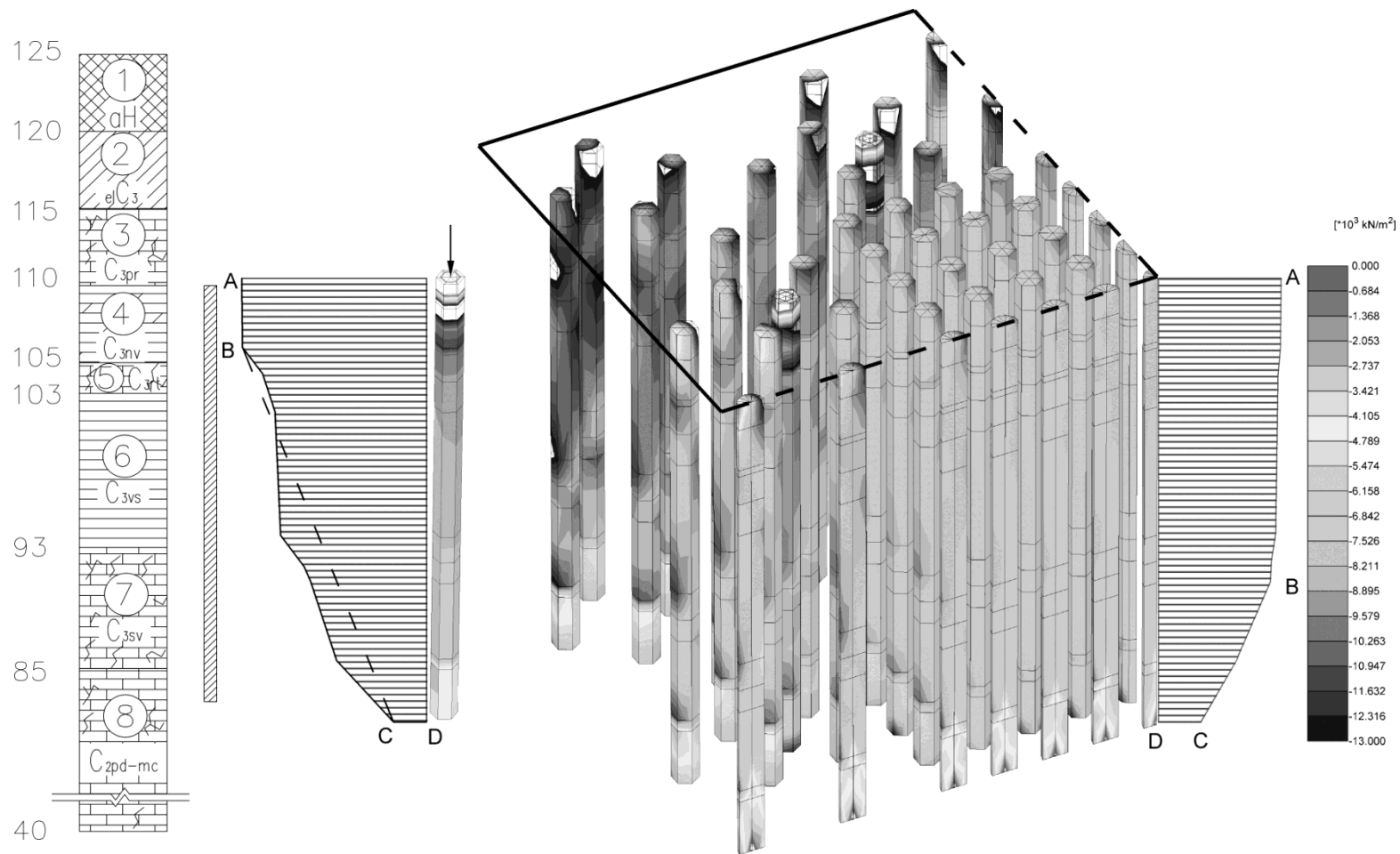
3. Результаты мониторинга

Башня Эволюция

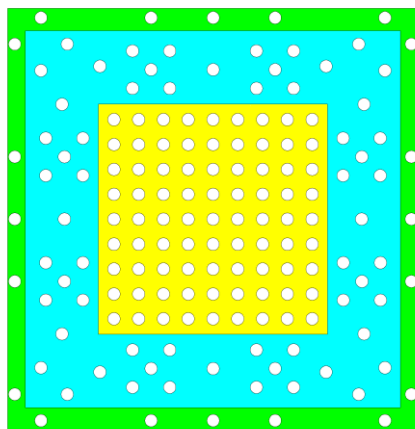


- Высота башни - 249м (45+4 этажей);
- Глубина котлована – 9 – 11м;
- Толщина ростверка под гостиницу – 4,0м;
- Бетон - В60

Усилия, возникающие в сваях в результате расчетов

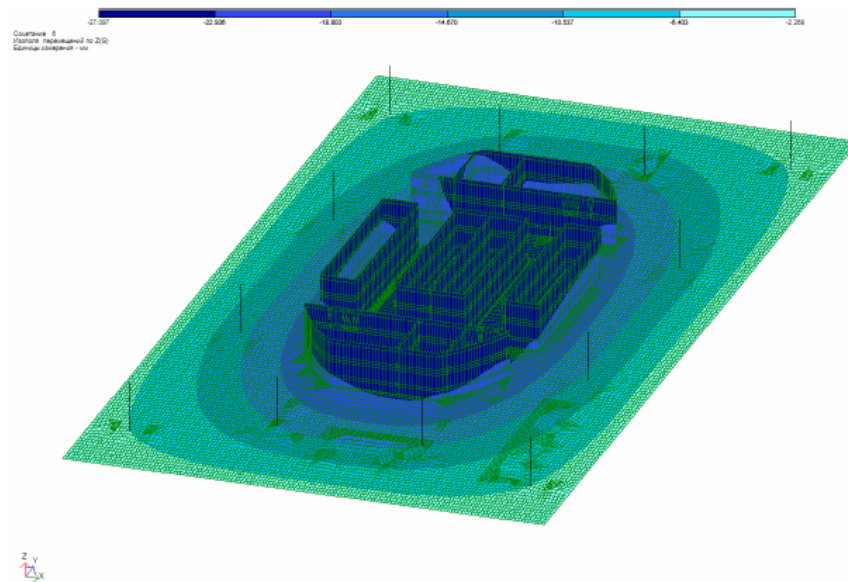


Результаты расчёта фундамента



- Внутренние сваи в зоне ядра башни $K_{wf}=103000\text{т/м}$
- Сваи между периметральными сваями и сваями зоны ядра $K_{wf}=140000\text{т/м}$
- Периметральные сваи расположенные по контуру ростверка $K_{wf}=183000\text{т/м}$.
Рекомендуемый коэффициент жесткости грунта под подошвой плитного ростверка $K_{wf}=100\text{т/м}^3$.

Значения коэффициентов постели

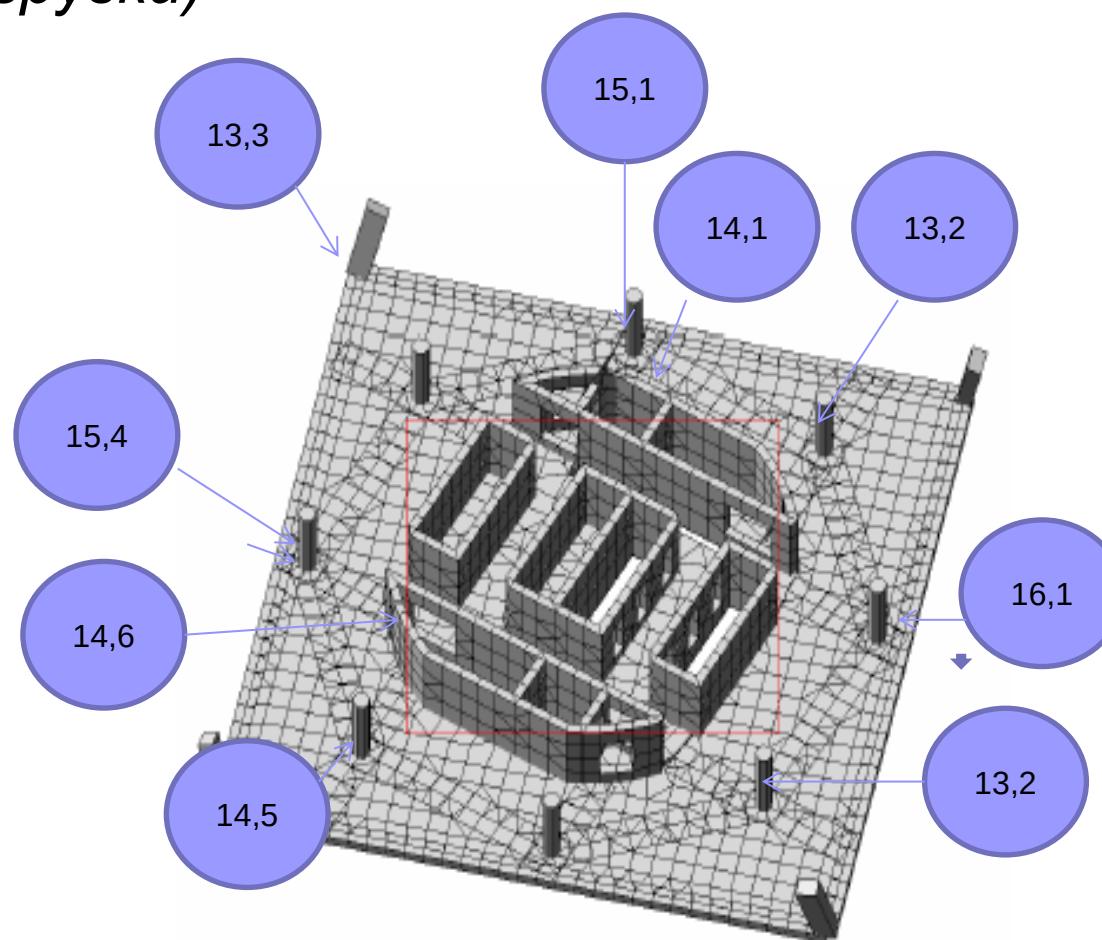


Осадка фундаментной плиты
($S_{max}=27\text{mm}$)

Результаты мониторинга на 13.09.2015г. (80% нагрузки)

Максимальная осадка – 16,1;

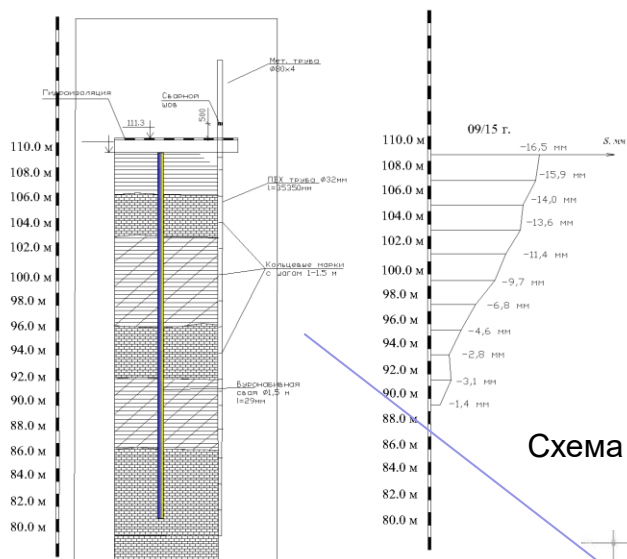
Минимальная – 13,2



***Запроектировано свайное поле позволило
выровнять осадки фундаментной плиты***

Послойные деформации грунта

Скважина 2



Скважина 1

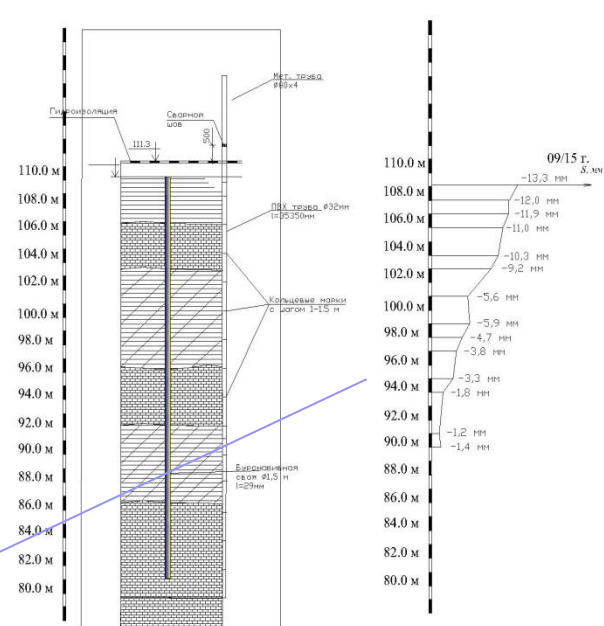
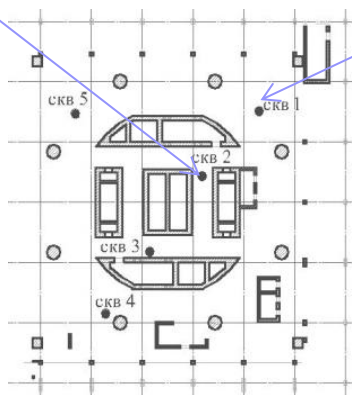


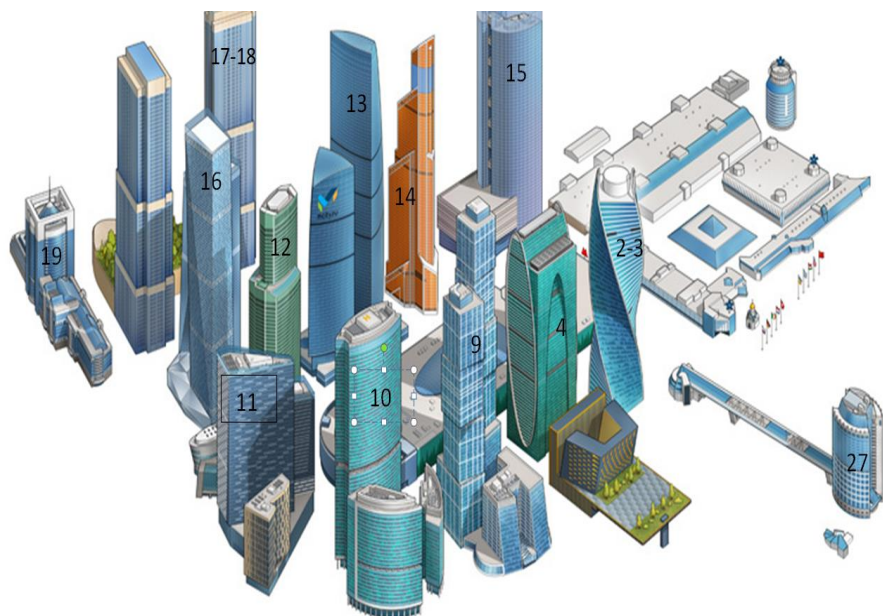
Схема размещения скважин



4. Москва – СИТИ. *One Tower – новая высота*

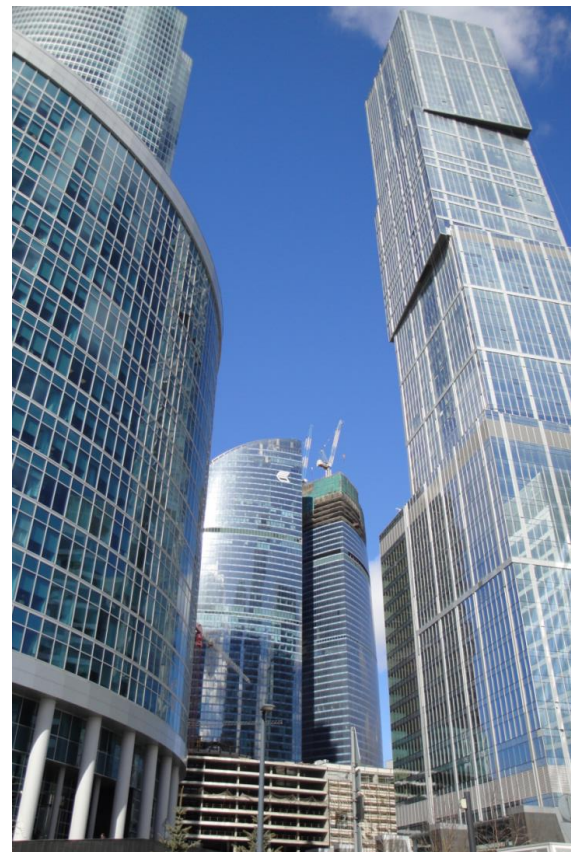


Схема расположения участков строительства (2020 г.)

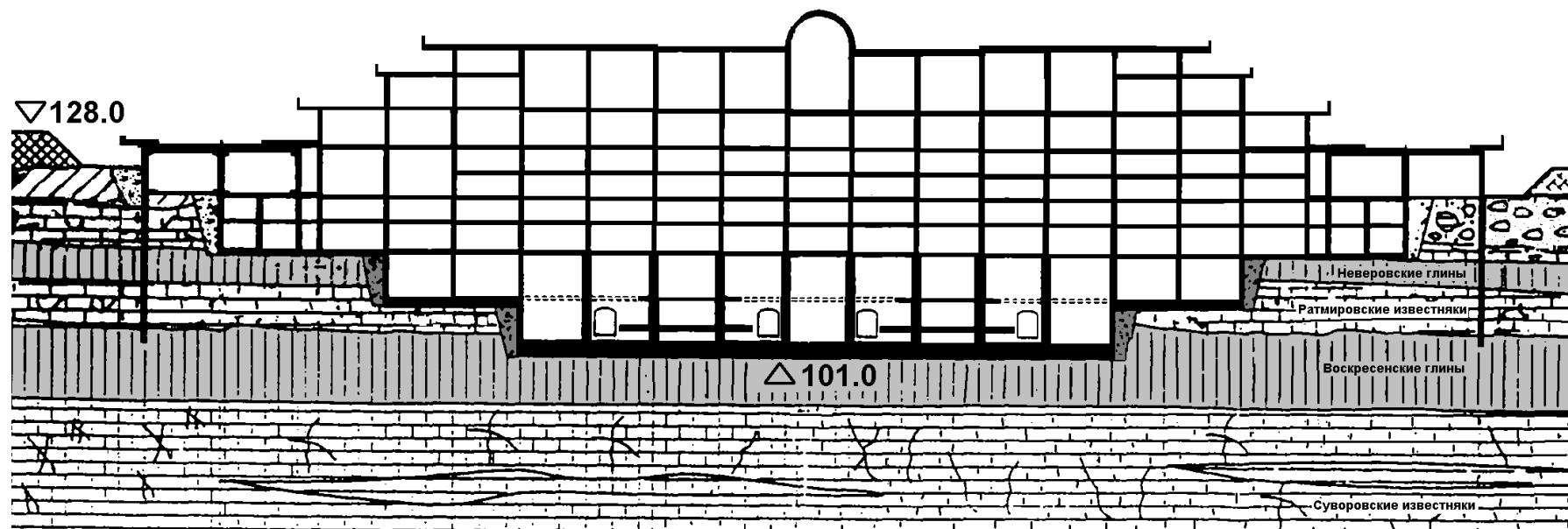


№ участка	Наименование объекта	Максимальная высота, м / этажность	Число подземных этажей	Период строительства
1	МЖК «One Tower»	403,9	6	2019-2022**
2-3	Башня «Эволюция»	204/45	3	2011-2015
4	Многофункциональный комплекс «Imperia Tower»	234/64	3	2006-2011
6 - 7	Афимол	*	5-6	*
8	City Point (гостиница)	10/*	5	*
9	«Город столиц»: башни «Москва» и «Санкт-Петербург»	241/73 234/62	3-6	2005-2009
10	«Башня на набережной»	85/17, 127/27, 268/60	4-5	2003-2007
11	IQ-квартал	85/21, 135/33, 169/42	5	2011-2018
12	Офисный комплекс «Евразия»	300/75	5	2005-2014
13	Комплекс «Федерация»	374/95, 242/63	5	2003-2016
14	Комплекс «Меркурий Сити Тауэр»	322/70	5	2009-2013
15	МФК «Grand Tower»	283/70	6	2013-2022**
16	Башни «Око»	354/85, 245/49	5	2011-2015
17-18	МФК «Neva Towers»	345/79 и 297/68	6	2014-2020
19	Северная башня	29	2	2005-2008
20	МФК	*/60	4	*
27	Башня «2000» и мост «Багратион»	104/34	2	1998-2001

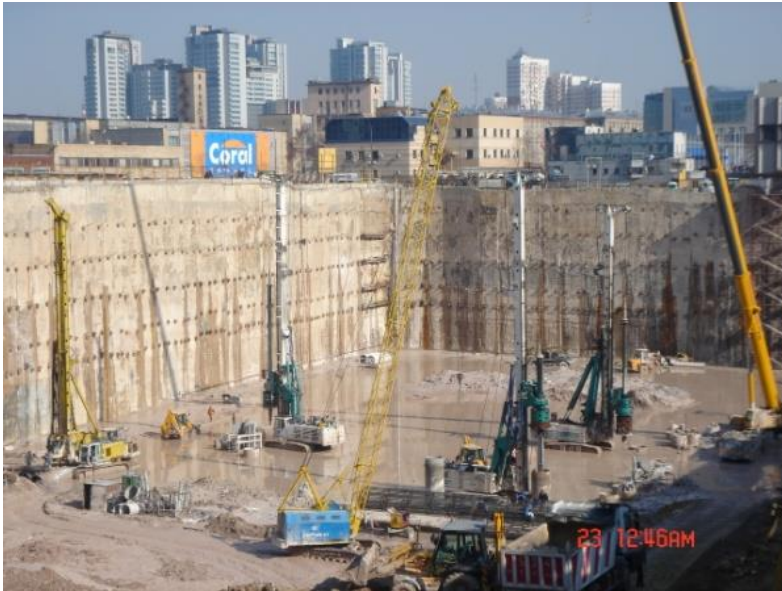
СИТИ Сегодня



Инженерно – геологический разрез



Ограждение котлована



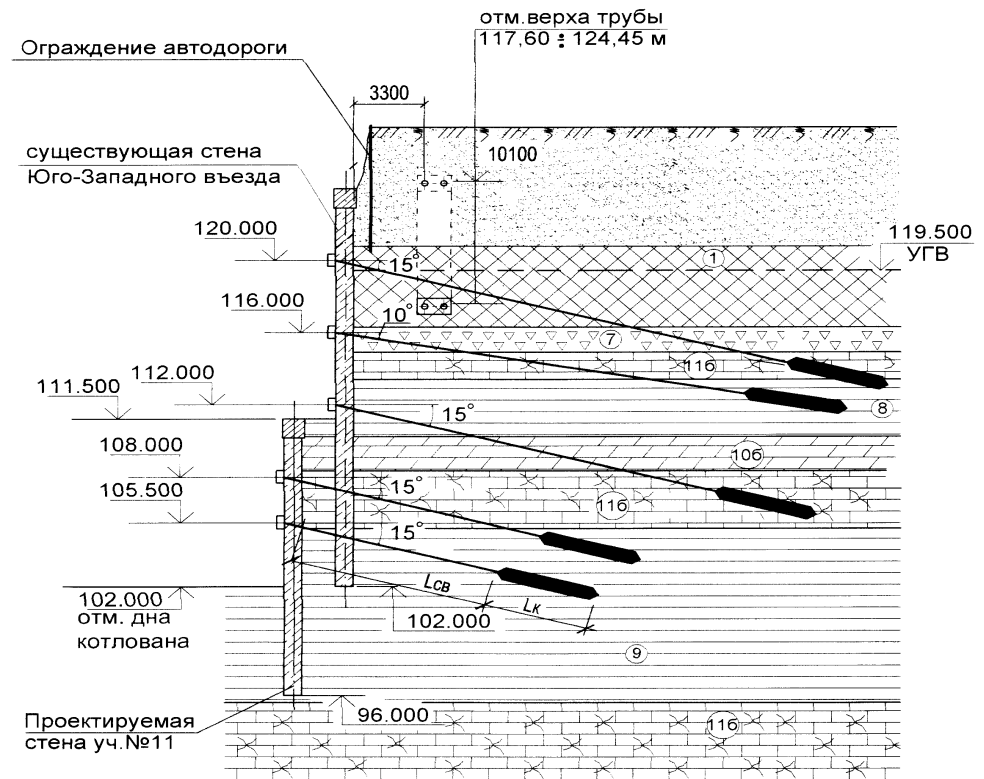
Котлованы глубиной 20 – 25м

Ограждающая конструкция:

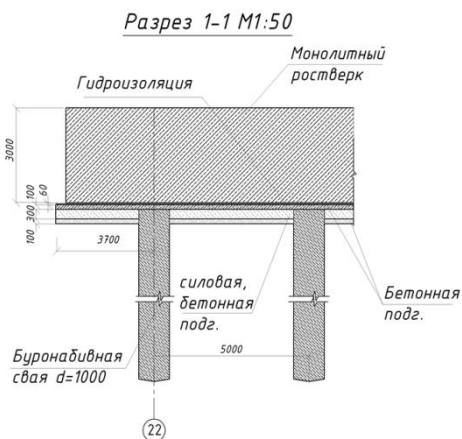
- «стена в грунте»;
- буросекущие сваи.

Удерживающая конструкция:

3 – 5 рядов анкеров с несущей способностью от 60 до 120т.



Устройство буронабивных свай на участке 11



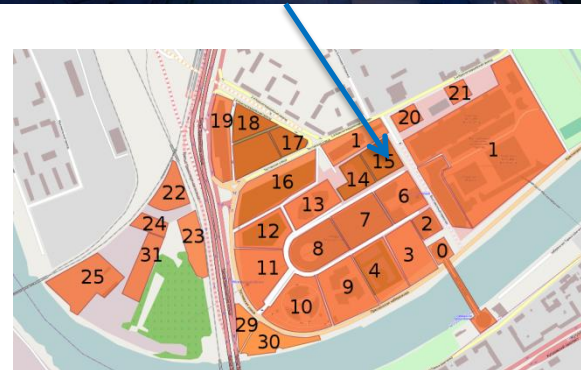
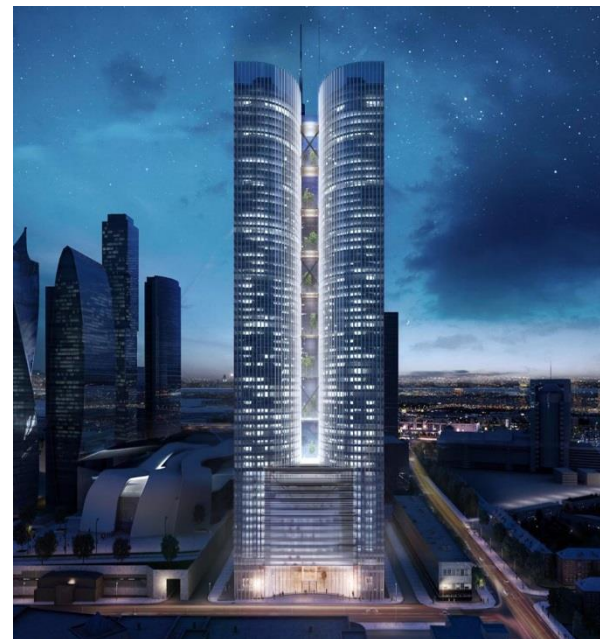
$R > 0.4 \text{ МПа}$ – свайный и плитно-свайный фундаменты.

Высота ростверка – от 2 до 5м

Конструкция двухслойного ростверка

МФК «Grand Tower» на участке 15 Москва – Сити высотой 283 м (строительство ведётся)

- Под высотные части выполнены сваи диаметром 1,5 м, под подиумную – 0,9 м. Толщина фундаментной плиты составляет 4 м. Длину свай выбирали таким образом, что они были заглублены в суворовские известняки на 4 м.
- Для снижения напора и исключения поступления воды в котлован были выполнены разгрузочные скважины.



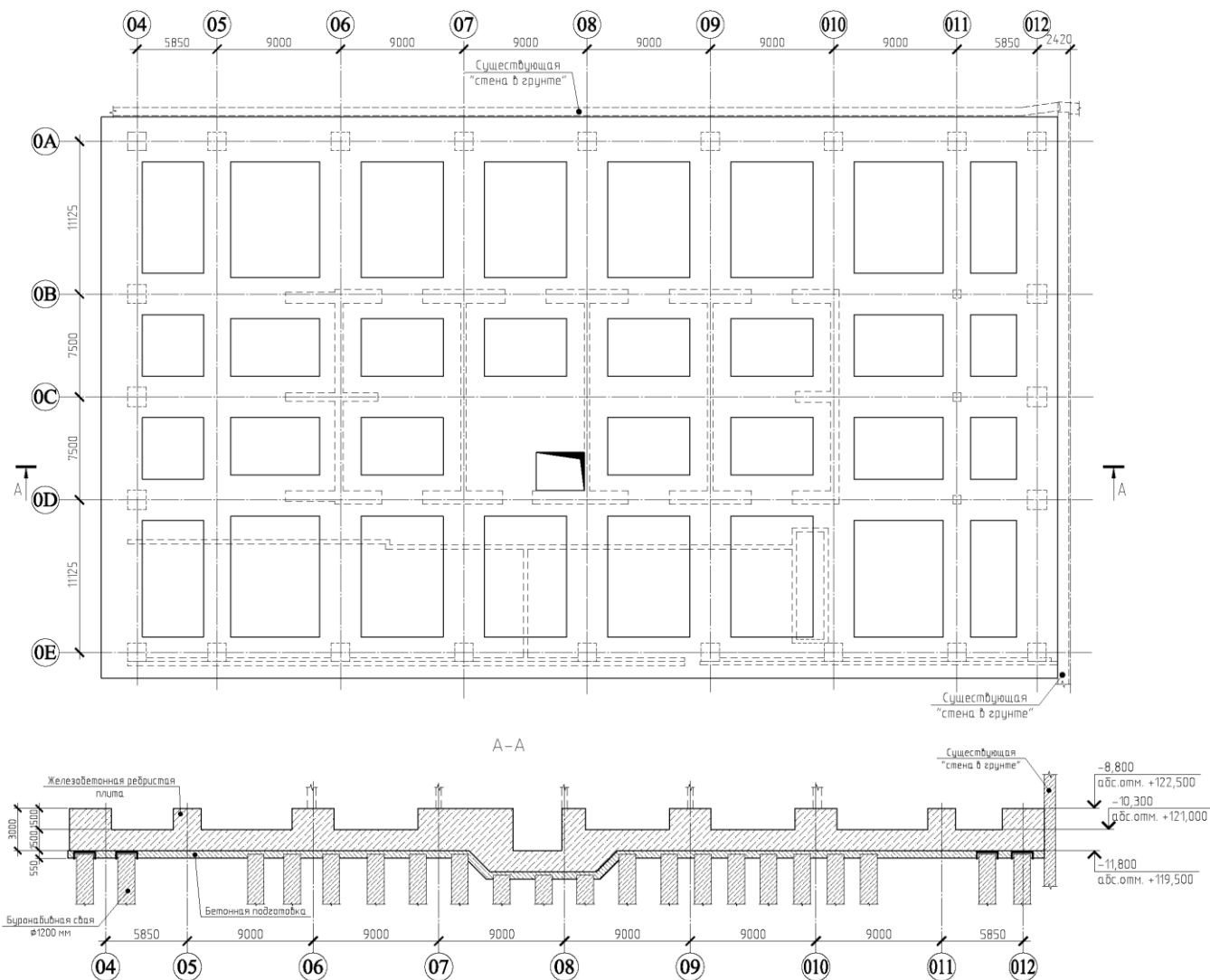
ММДЦ «Москва-Сити»

Участок 16.

*49-этажное офисное здание
Свайно-плитный фундамент*

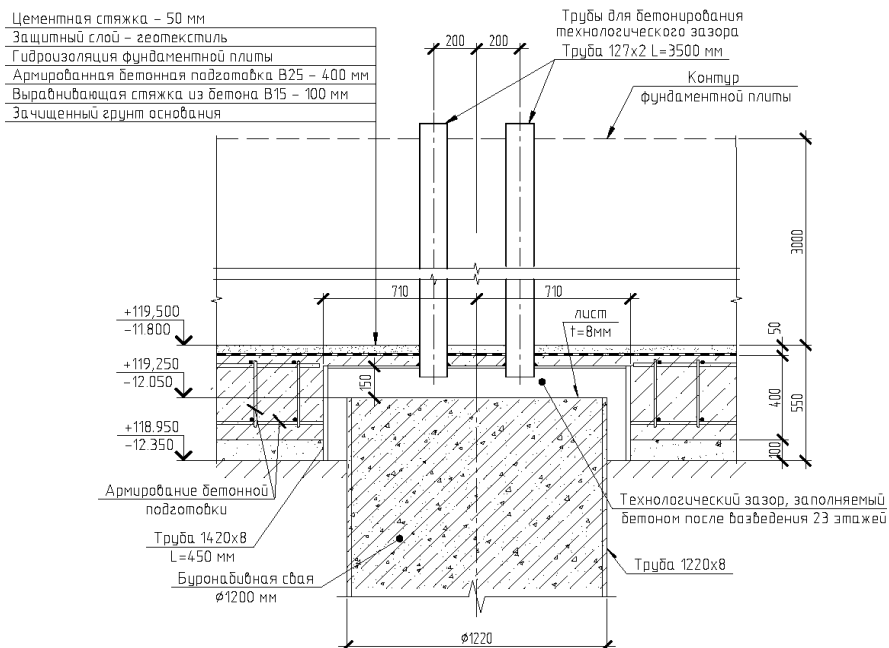


План и разрез по ребристой плите ростверка 49-этажного здания

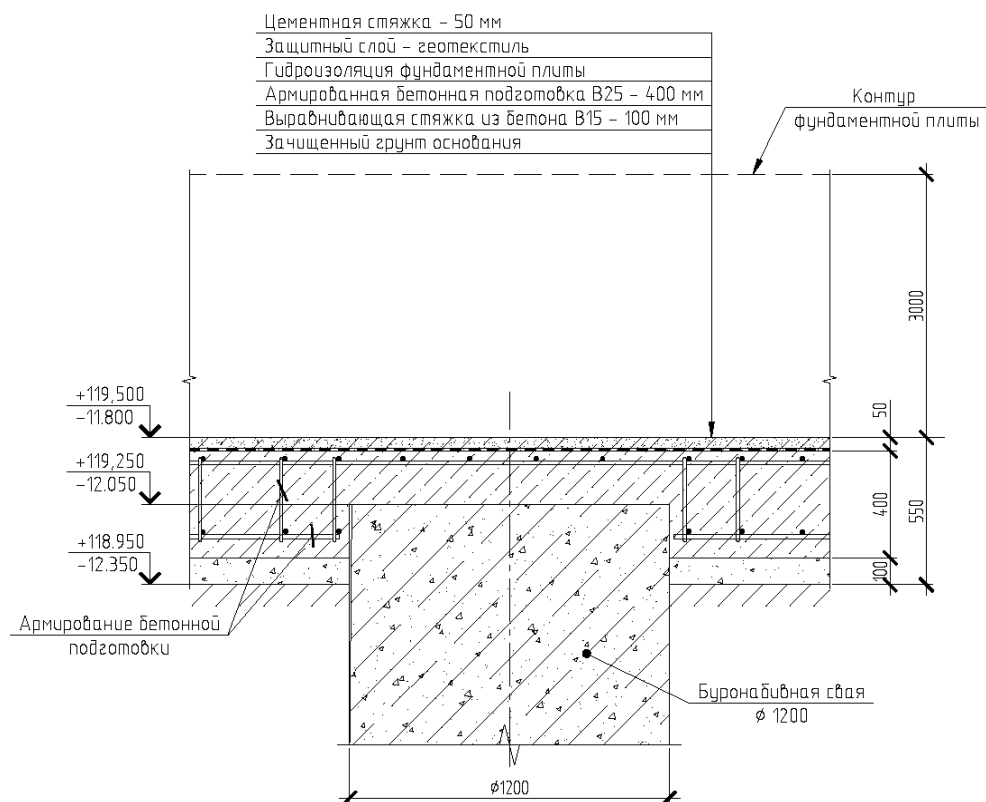


Включение в работу фундамента

Включение» свай в работу предусматривается при приложении 50%нагрузки от строящегося здания.

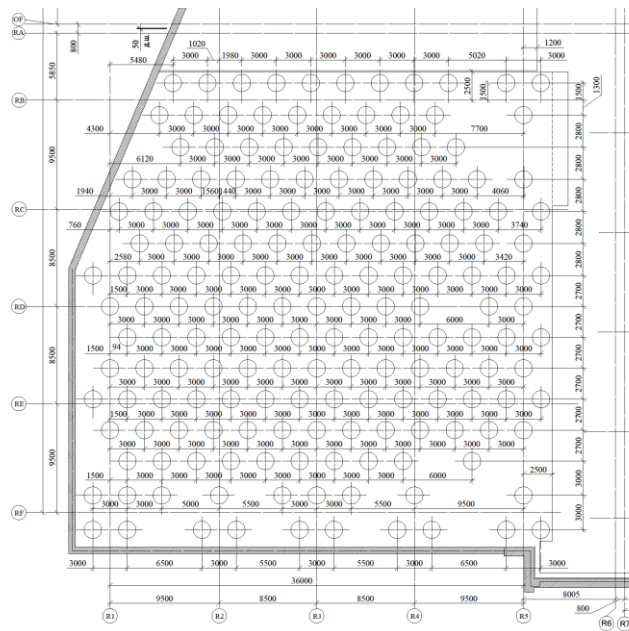


Передача нагрузок на сваи осуществляется с начала возведения здания

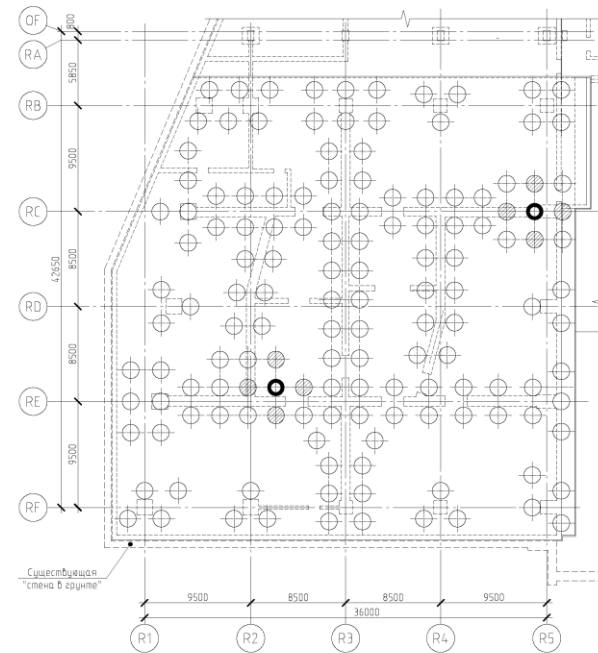


Свайное поле

Первоначальное проектное решение

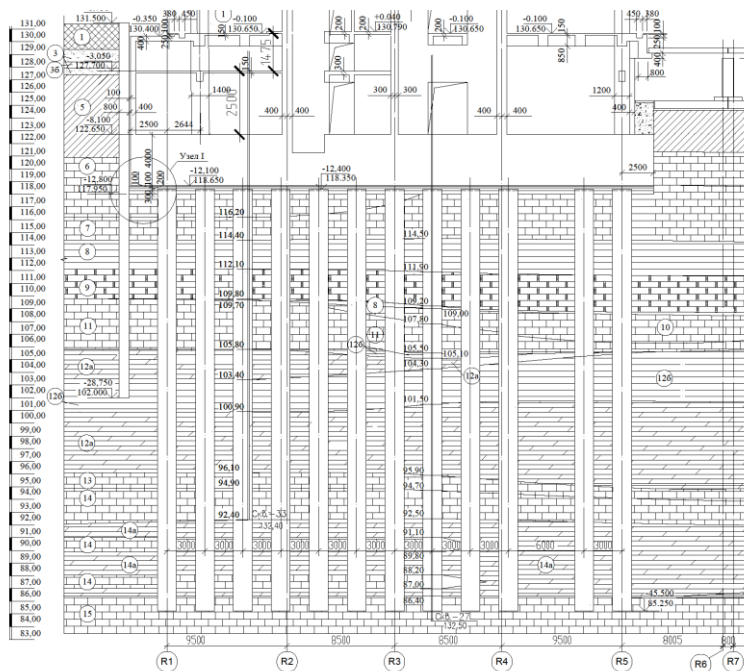


После корректировки и оптимизации



Длина свай

По первоначальному проекту



После корректировки
НИИОСП

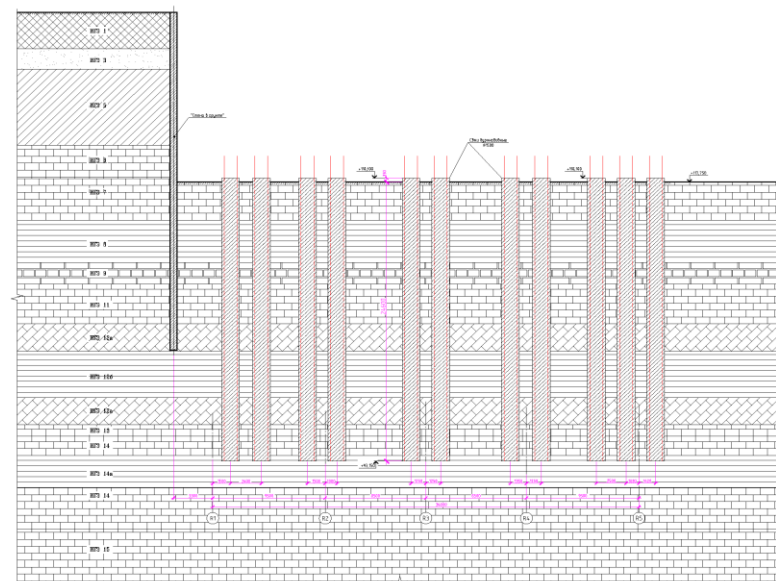
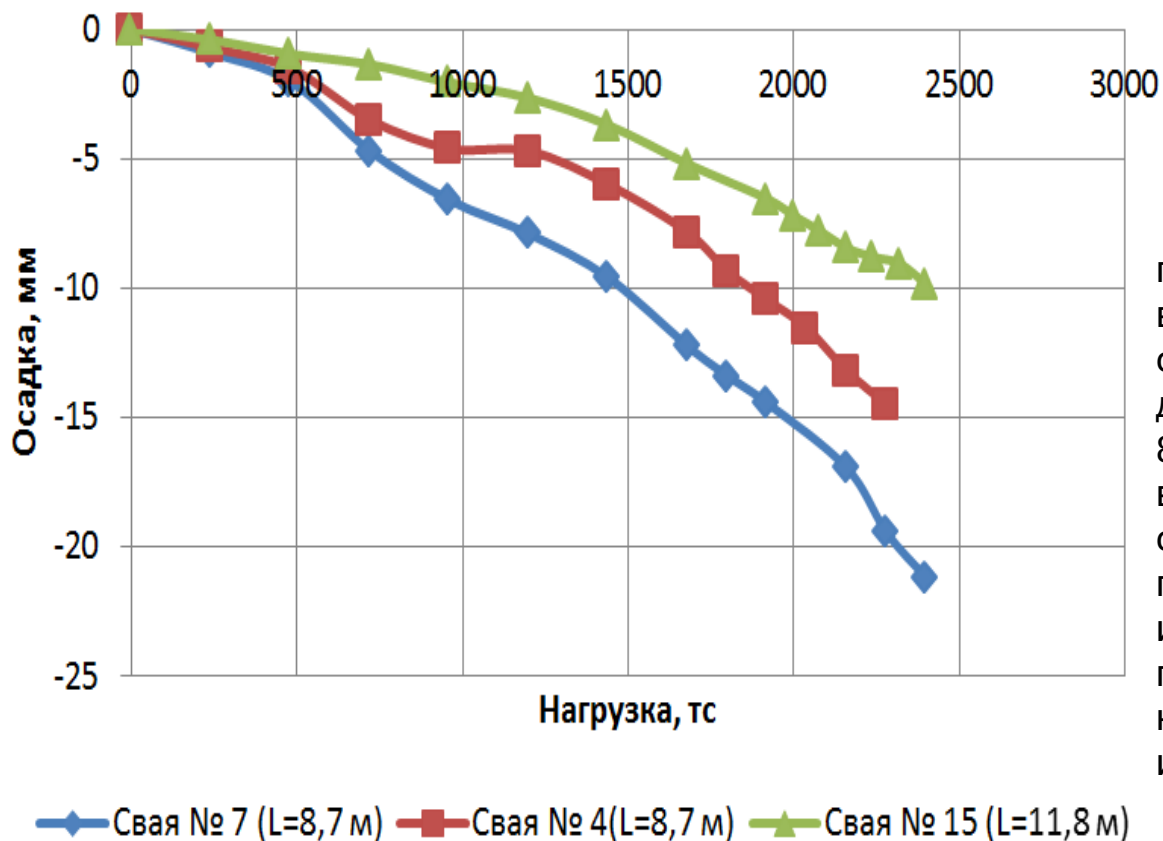


График испытаний свай для 49-этажного здания



Принятый НИИОСП подход к проектированию фундаментов высотного здания позволил сократить количество свай с 243 шт. до 164 шт, а длину свай с 20 м до 8,7м в периметральной части и 12 м в центральной части, что позволило сократить общую длину свай с 4860 п.м. до 1960 п.м. или на 2900 п.м. или в 2,48 раза, а также наиболее полно использовать потенциал несущей способности свай в известняках.

МФК на участке 20

- Здание имеет размеры в плане 60×60 м. Высота 320 м, 59 этажей.
- Устройство фундаментов планируется выполнить в котловане глубиной 31 м. Ограждение котлована – буросекущие сваи диаметром 1,2 м, крепление планируется выполнить, как и всех котлованов «Москва–Сити», из 7 ярусов анкеров.
- В качестве фундамента рассматриваются буронабивные сваи длиной 17 м, объединённые плитным ростверком толщиной 3 м.

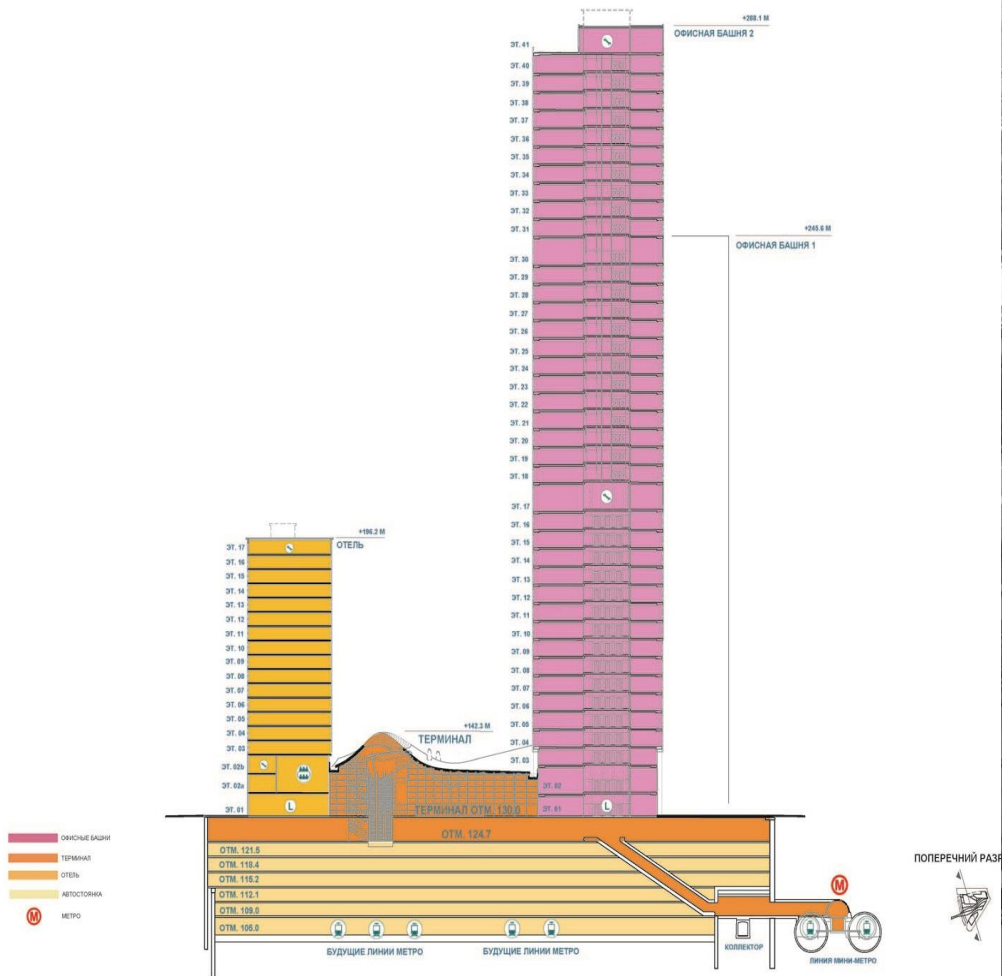




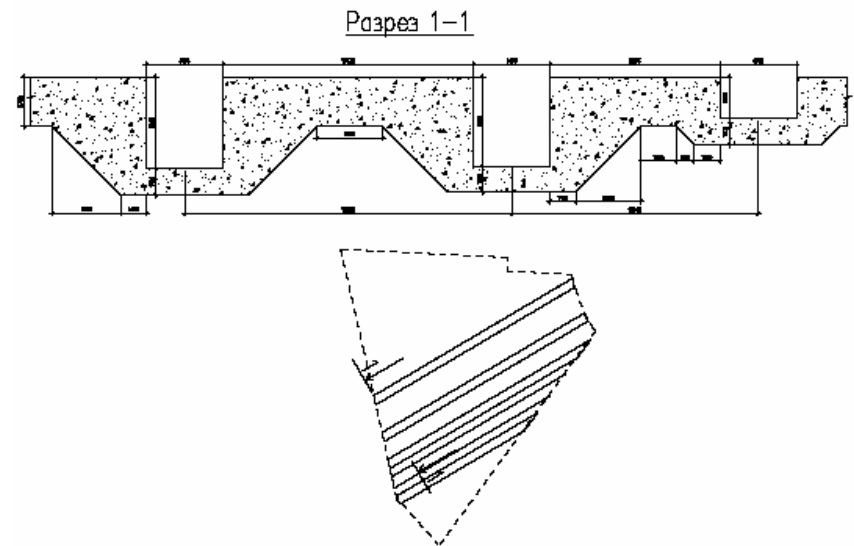
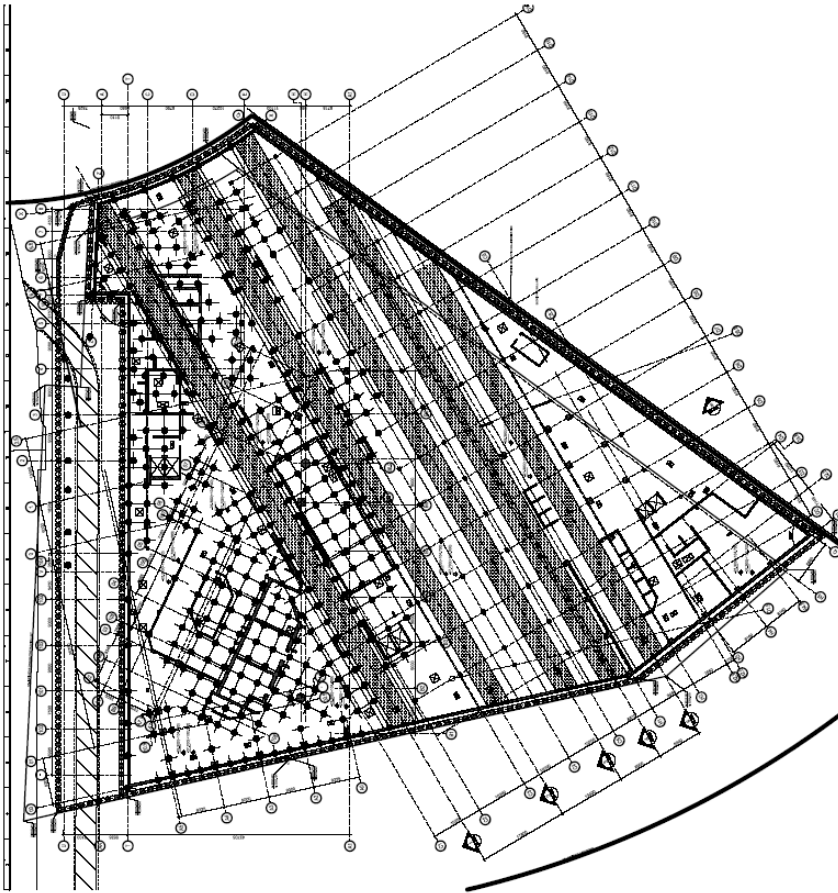
Проектирование оснований и фундаментов

- *Плитно-свайные фундаменты*
- *Фундаменты со сваями различной глубины*
- *Единая плита без осадочных швов под сооружения многофункционального комплекса*
- *Двухслойный ростверк*

IQ-квартал на участке 11

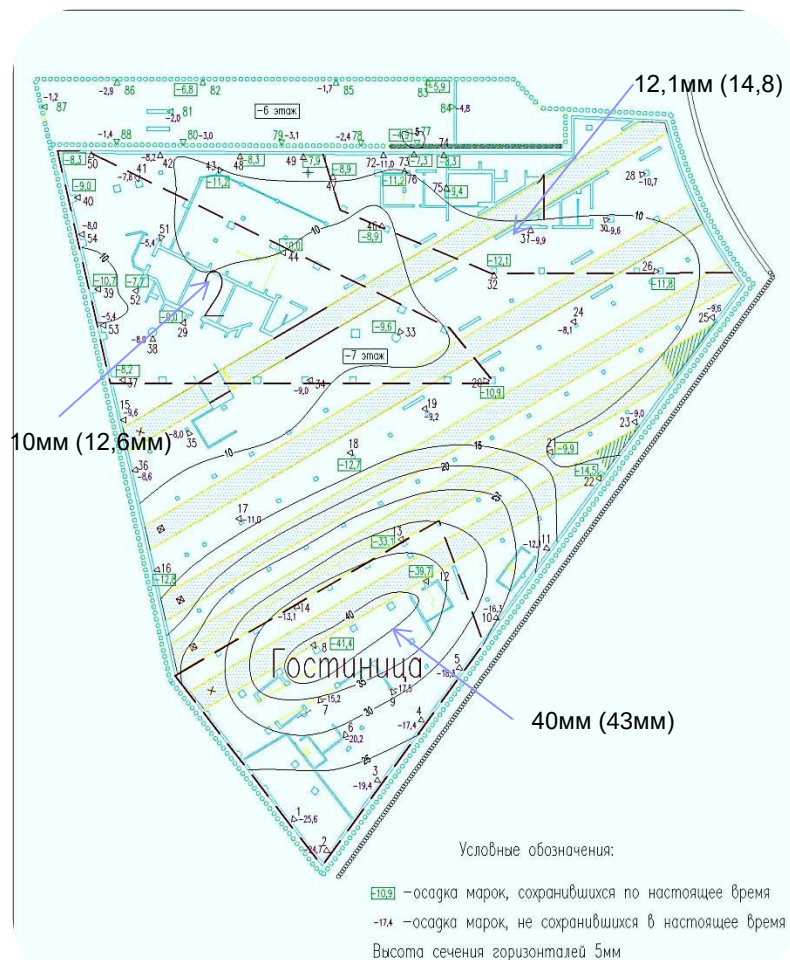


Фундаментная плита

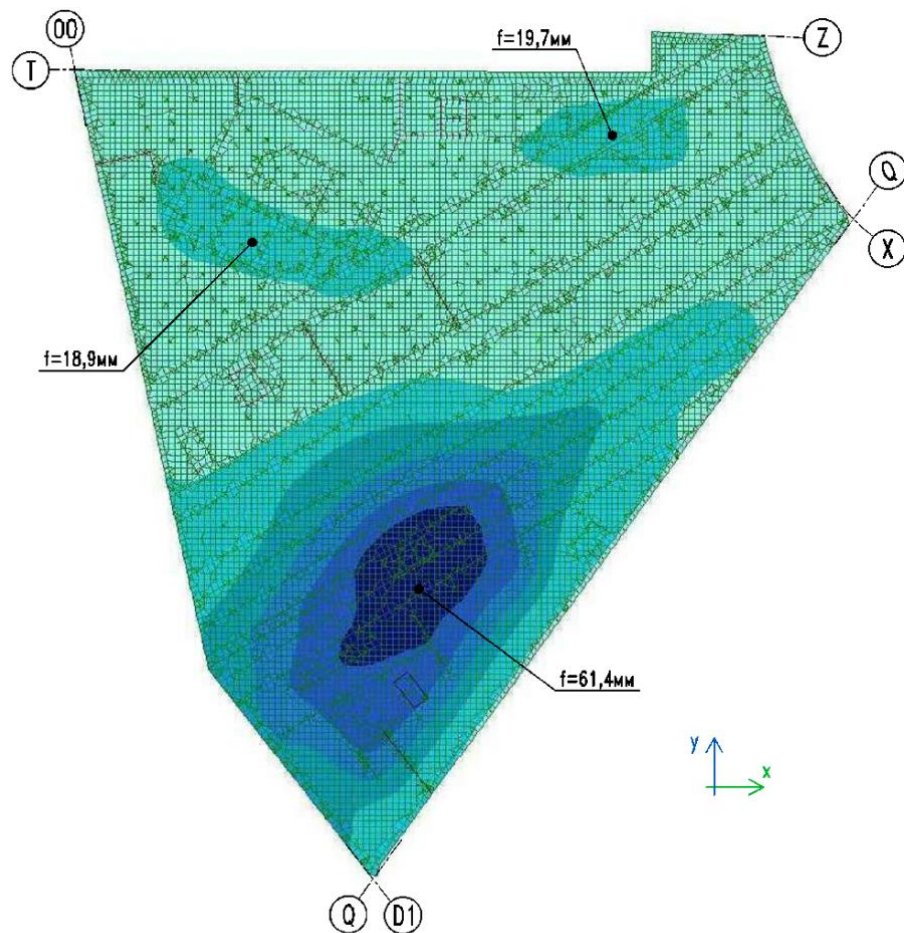


Сравнение расчетных и измеренных осадок на 14.07.2015г. (28.07.16г.)

Измеренные осадки



Расчетные осадки

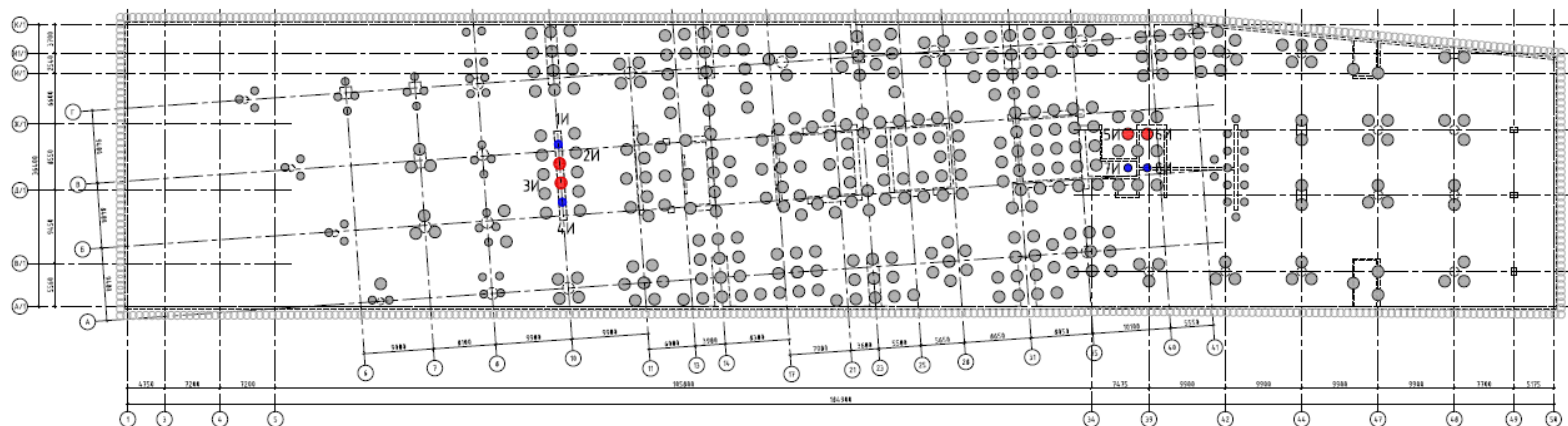


МЖК «One Tower» высотой 445 м (115 этажей) на участке 1

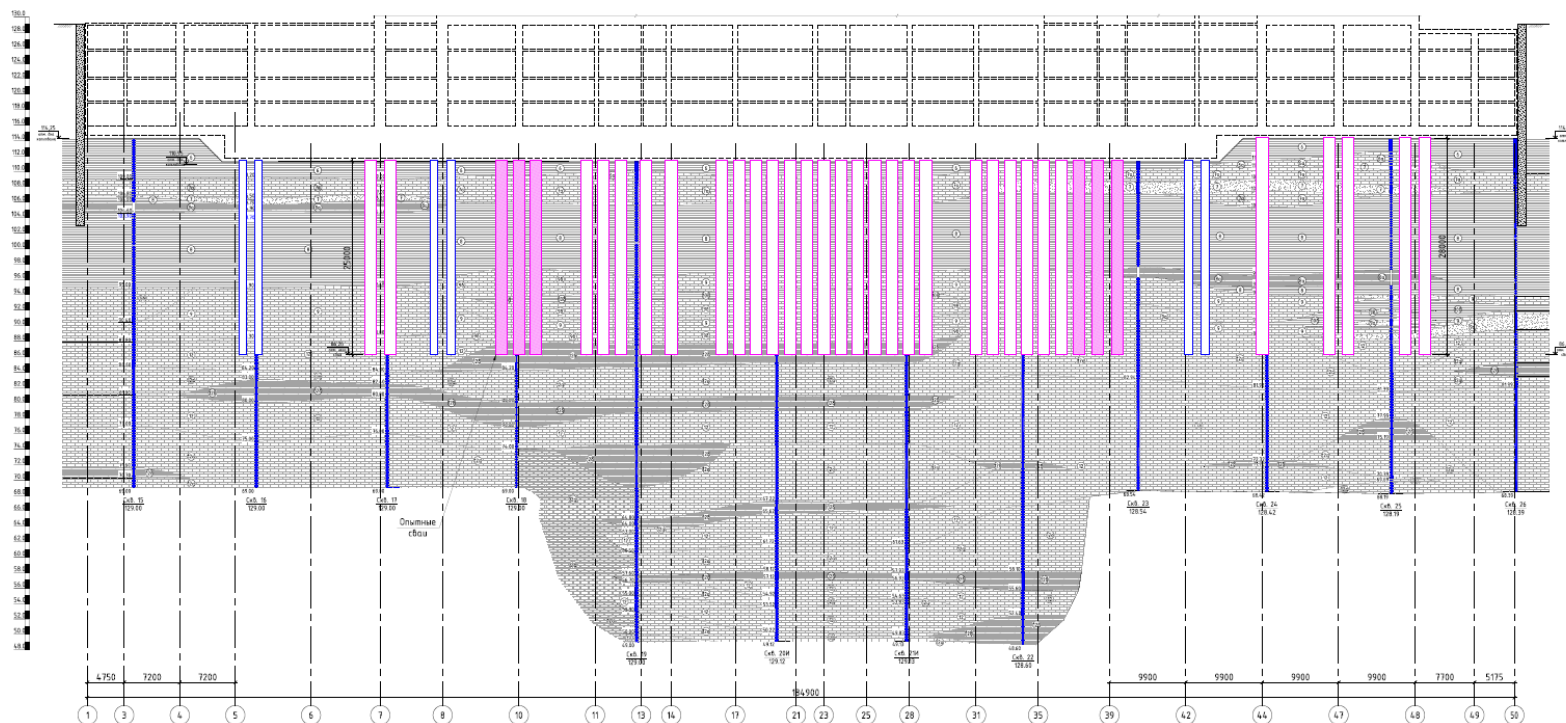
- Фундамент выполняется в котловане глубиной 17,3 м. Фундаментная плита под высотную часть запроектирована высотой 4,5 м, под стилобатную – 1,2 м. Устройство деформационного шва между высотной частью и стилобатом не предусмотрено. Ъ
- В качестве фундамента запроектировано свайное поле из свай диаметром 1,0 в зоне стилобата (длина 25,0 м) и диаметром 1,5 м под высотной частью (длина 25,0-28,0 м). Расчётная нагрузка на сваю диаметром 1,0 м – 1883 т; диаметром 1,5 м – 4247 т. Сваи выполняются из бетона В60.
- Первоначально на сваи аналогичных параметров средняя расчётная нагрузка составляла 1700 т (башня «Эволюция») и 1550 т (башня «Империя»), т.е. была более чем вдвое меньше.



МЖК «One Tower» Свайное поле



План



Разрез

МЖК «One Tower». Испытания свай

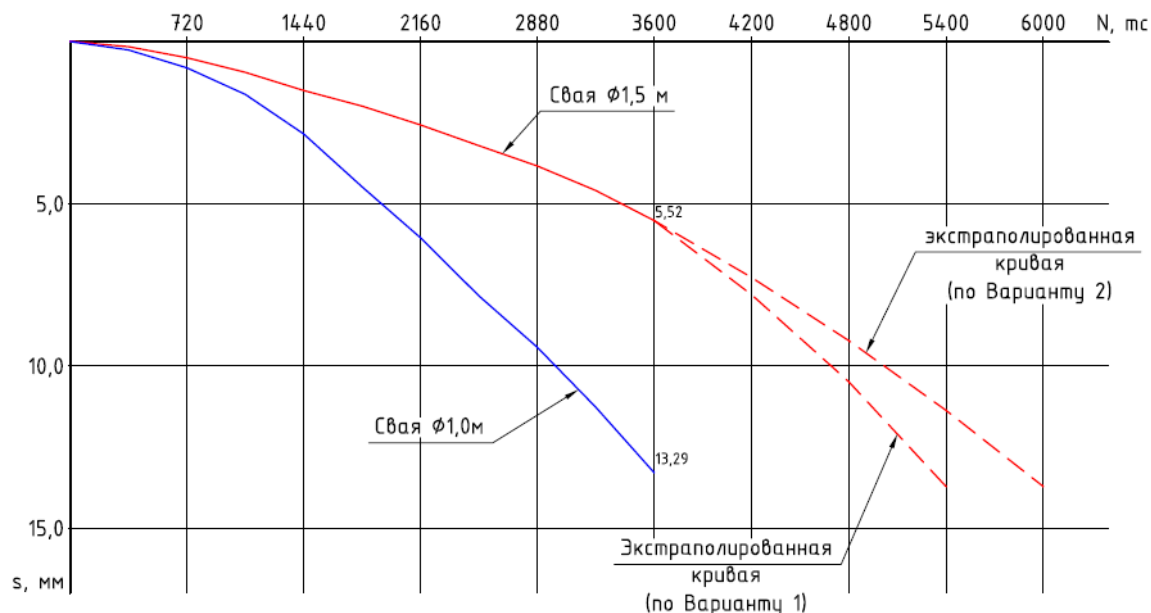
Нагрузочная система на 3600тс



Система домкратов



Графики осреднённых осадок верха свай при испытаниях



Максимальные осадки низа свай при нагрузке 3600 тс составили 3,37 мм и 1,41 мм для свай $\phi 1,0$ м и $\phi 1,5$ м соответственно.

Заключение

- Проведённые исследования взаимодействия буронабивных свай со скальным грунтом позволили изучить работу свай в скальных грунтах (на нижний конец сваи нагрузка не передаётся без проведения специальных мероприятий) и соответствующим образом определить несущую способность свай.
- Учет работы свай по боковой поверхности в скальных грунтах позволяет существенно сократить длину (количество) свай. Так, например, длина свай на участках указанной выше первой очереди строительства составляла 30м, диаметр 1,2 – 1,5м, несущая способность – до 3500кН. Последней очереди строительства – менее 10м (для строящейся в настоящее время башни «One Tower» высотой 403,9 м на участке 1 длина свай диаметром 1,5м составляет 6,35м при несущей способности по грунту 5400кН).
- Учет работы свай по боковой поверхности на одном из объектов в Екатеринбурге позволил сократить количество свай в 2 раза с 4000 до 20000 штук.

Выводы и рекомендации

1. Отечественные нормативные документы предписывают выполнять оценку несущей способности буронабивных свай в скальных грунтах как свай-стоек. Однако, мировой и отечественный опыт последнего десятилетия говорит, что буронабивные сваи в скальных грунтах работают как висячие и передают нагрузку на скальные грунты по боковой поверхности.
2. Для получения достоверных данных о сопротивлении свай по боковой поверхности в скальных грунтах, испытания необходимо проводить с использованием опытных свай, оборудованных тензосистемой. Ввиду значительных нагрузок (10 и более МН) проведение испытаний методом погружных домкратов является более эффективным и экономичным, хотя и ставит высокие требования к квалификации исполнителя испытаний.
3. Выполненное обобщение по результатам испытаний свай в скальных грунтах показало, что в подавляющем большинстве пята сваи, без проведения специальных мероприятий по подготовке забоя, в работу не включается. В связи с этим, целесообразно пересмотреть подход в нормативных документах по учету сопротивления буронабивных свай в условиях скальных грунтов под нижним концом.
4. Замеренные по результатам испытаний сопротивления свай по боковой поверхности зависят от величины нагрузки и перемещений при испытаниях, а также прочности породы. Для известняков московского региона замеренные значения сопротивления по боковой поверхности находятся в пределах 120...200 тс/м². Исключение составляют испытания на участке 17 Москва-СИТИ, где при нагрузке 5500 тс были значительно большие сопротивления – 325...529 тс/м². Для порфиритов и сланцев сопротивления по боковой поверхности лежат в диапазоне 40,6...147,8 тс/м².



Дальнейшее направление исследований в данном вопросе должно быть направлено на исследования зависимости сопротивления скальных грунтов по боковой поверхности от величины нагрузки и связанной с ней увеличением горизонтальных напряжений в грунте за счёт нагружения массива грунта вертикальной нагрузкой и расширения тела сваи, вертикального перемещения свай и прочности породы.

Спасибо за внимание!

Шулятьев Олег Александрович, к.т.н.
Зам. директора НИИОСП им. Н.М.
Герсевича АО «НИЦ «Строительство»
Адрес: 109428, Москва, Рязанский
просп., д. 59
Тел.: +7 (499) 170-5783 E-mail:
niiosp35@yandex.ru