



Санкт-Петербургский
государственный архитектурно-
строительный университет

Чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук
Мангушев Р.А.

Усиление фундаментов зданий и сооружений - памятников архитектуры и их приспособление к современному использованию (на примере Санкт-Петербурга)".

LXXVII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ

КОНФЕРЕНЦИЯ СПБГАСУ

Санкт-Петербург (1703) – город в дельте реки Невы



Основные проблемы реконструкции исторических зданий

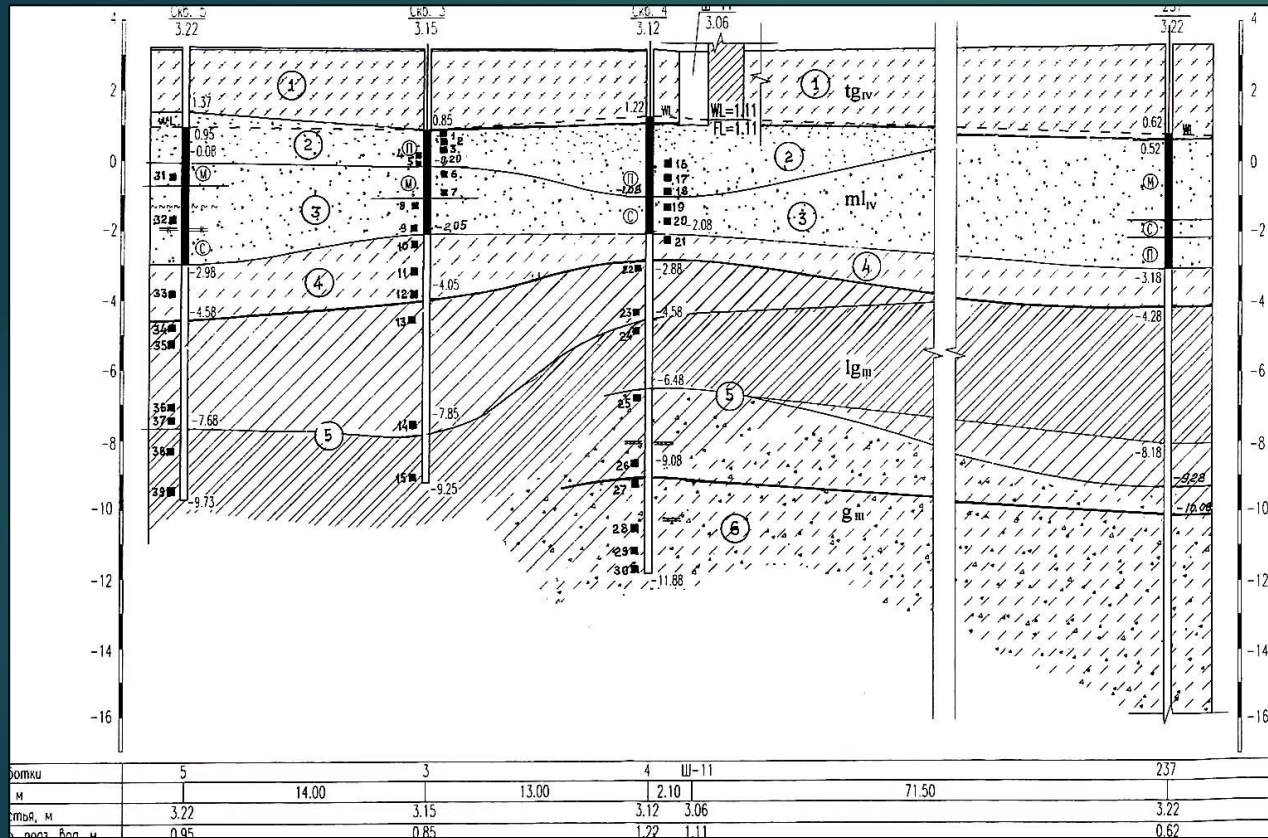
Сложные инженерно-геологические условия:

- ▶ большая толща слабых водонасыщенных грунтов;
- ▶ большие неравномерные и длительно-затухающие осадки сооружений и территории

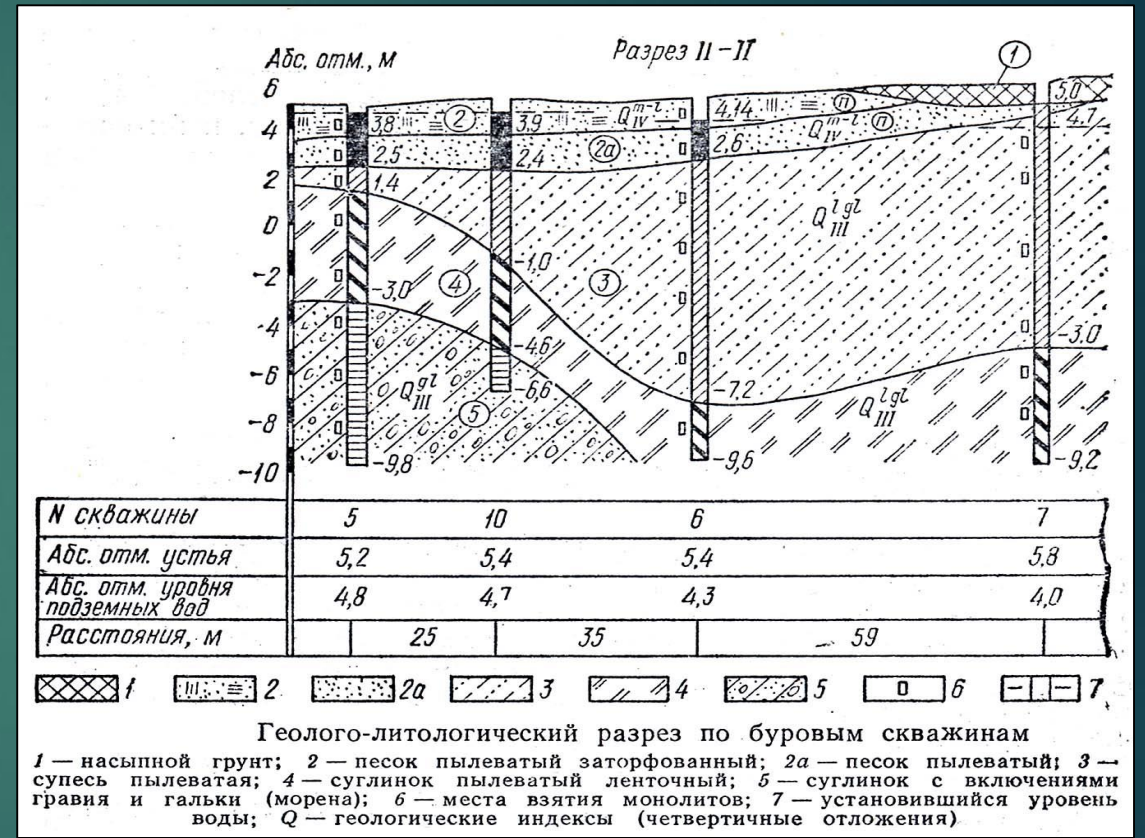
Конструктивные особенности

- ▶ наличие под зданиями лежней и деревянных свай;
- ▶ ветхое состояние несущих конструкций сооружений.
- ▶ развитие дополнительных осадок существующих зданий при откопке котлованов и строительстве зданий около них;
- ▶ проблемы при забивке и вибропогружения свай и шпунта около сооружений.

Примеры инженерно-геологических разрезов по территории Санкт-Петербурга



Центральный район



Петроградский район

Строительство в Санкт-Петербурге в начале 18-го века

5



Wooden trunks of trees and wooden piles under the foundations bottoms.



Казачий пер. и
Литейный пр.



Каменноостровский театр



Наб. Фонтанки д. 7.

Причины развития неравномерных осадок в период эксплуатации ($S_{\text{эксп.}}$)

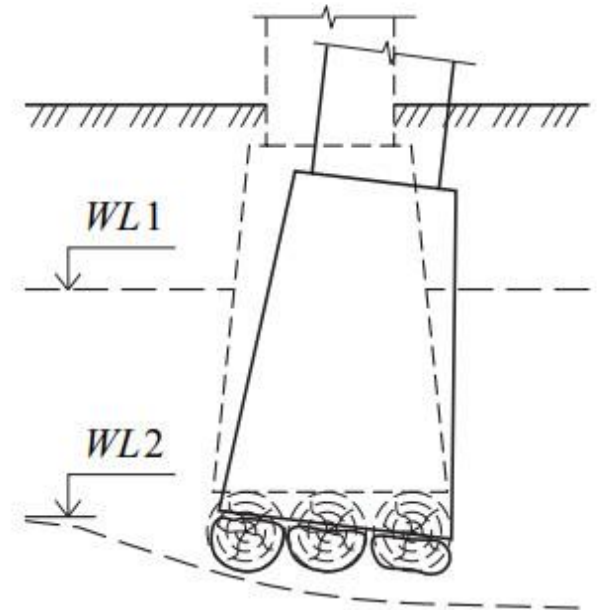
Изменение положения уровня подземных вод и гниение лежней



a)



б)

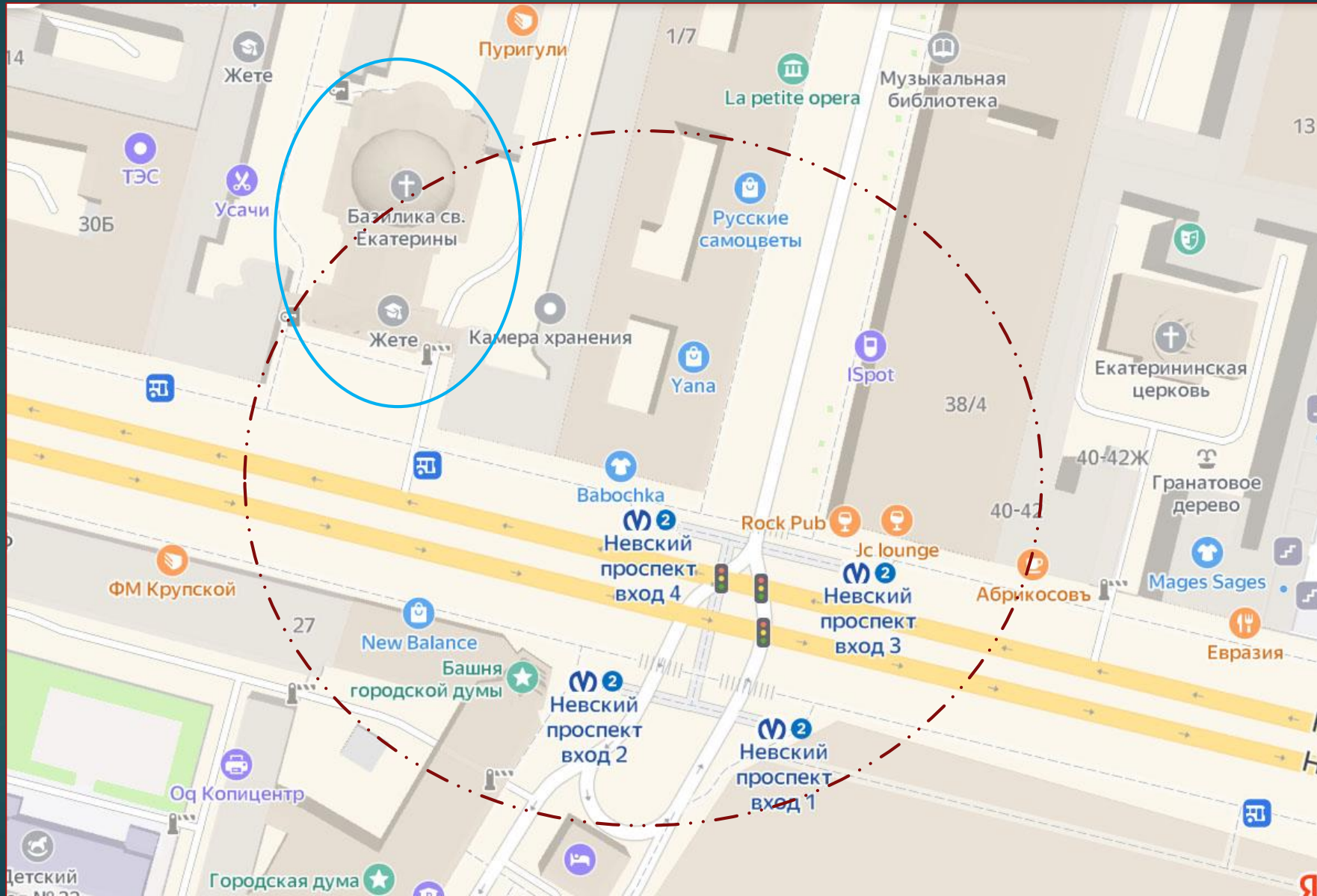


Общий вид лежней (a) и схема осадки фундамента при гниении лежней (б)



Примеры усиления фундаментов зданий и сооружений - памятников архитектуры

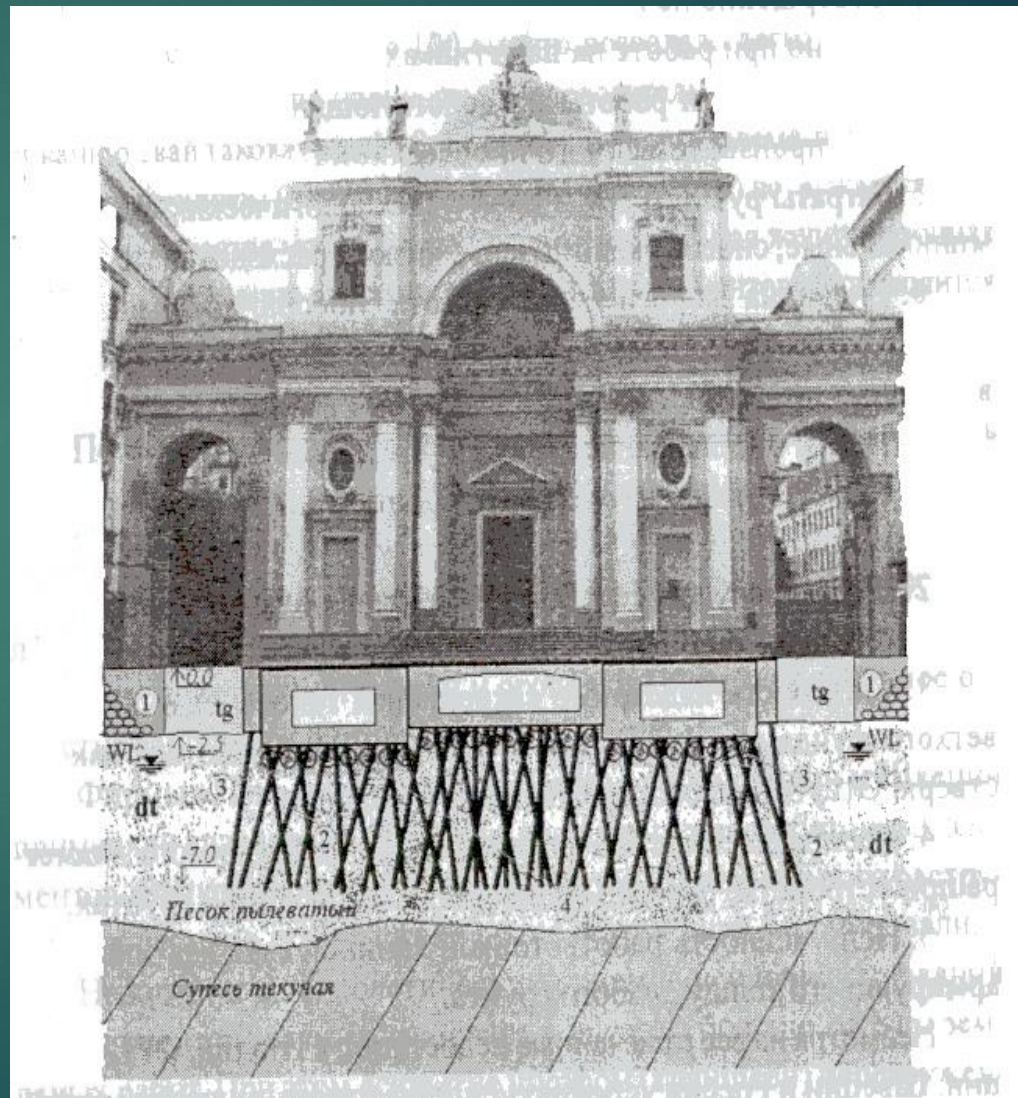
Зона влияния водопонижения при строительстве подземного перехода «Невский проспект»



Усиление основания и фундаментов костела Св. Екатерины (Санкт-Петербург). Проект арх. Ж. Валлен-Деламота. 1762 - 1783 гг.



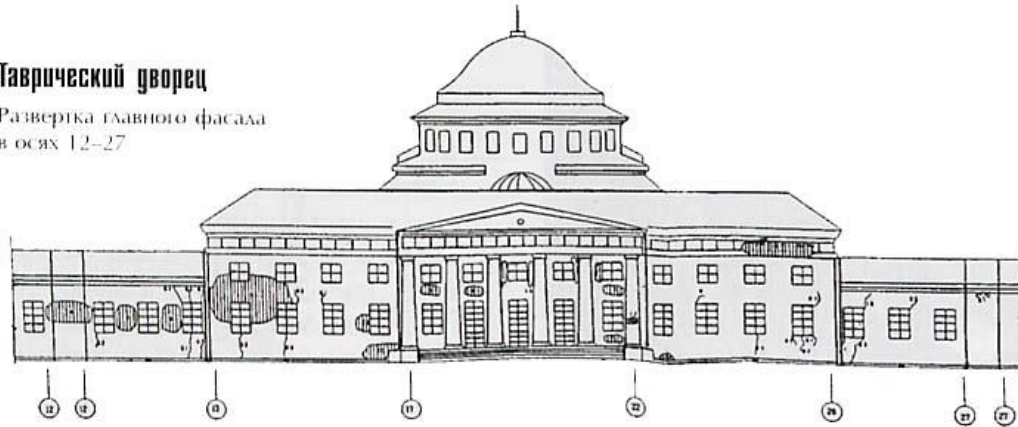
Руководство работами А. Ринальди.



Усиление здания Таврического дворца (памятник XVIII века, арх. Старов И.Е.)

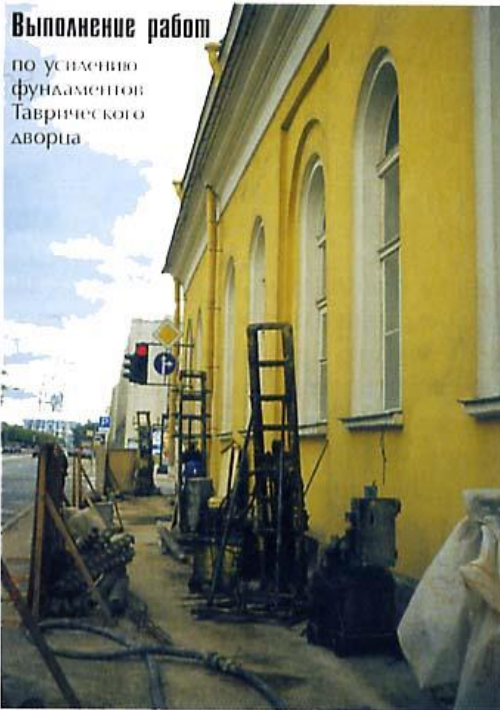
Таврический дворец

Развертка главного фасада
в осях 12-27

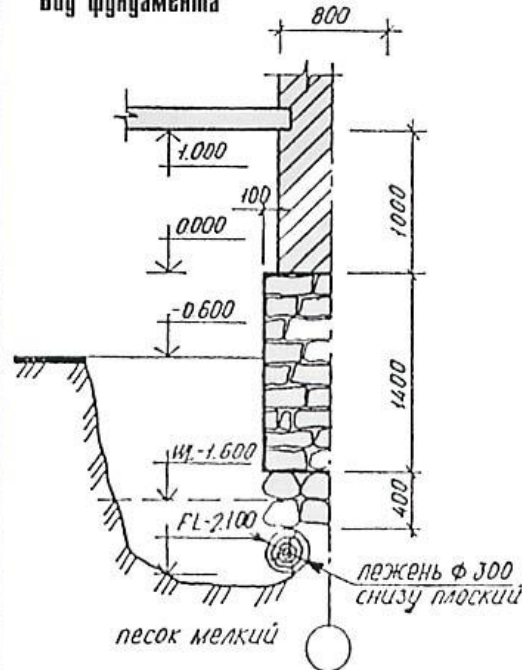


Выполнение работ

по усилению
фундаментов
Таврического
дворца



Вид фундамента



- ▶ Результаты обследования (1993): Ф-ты известняковый бут, $d = 1,4-2,65$ м, под частью фундаментов имеются лежни.
- ▶ Трещины в конструкциях здания из-за неравномерных осадок, гниения древесины и строительных работ (подземный гараж).
- ▶ 1998 г. ЗАО «Геострой» проведено усиление фундаментов:
 - а) **нагнетание цементного раствора в контактную зону** (фундамент - основание);
 - б) **пересадка фундаментов на б/и сваи усиления $\varnothing 151$ мм длиной 7,4 м.**
- ▶ Расчетная несущая способность сваи 50 кН.

Новая жизнь реконструированного Таврического Дворца



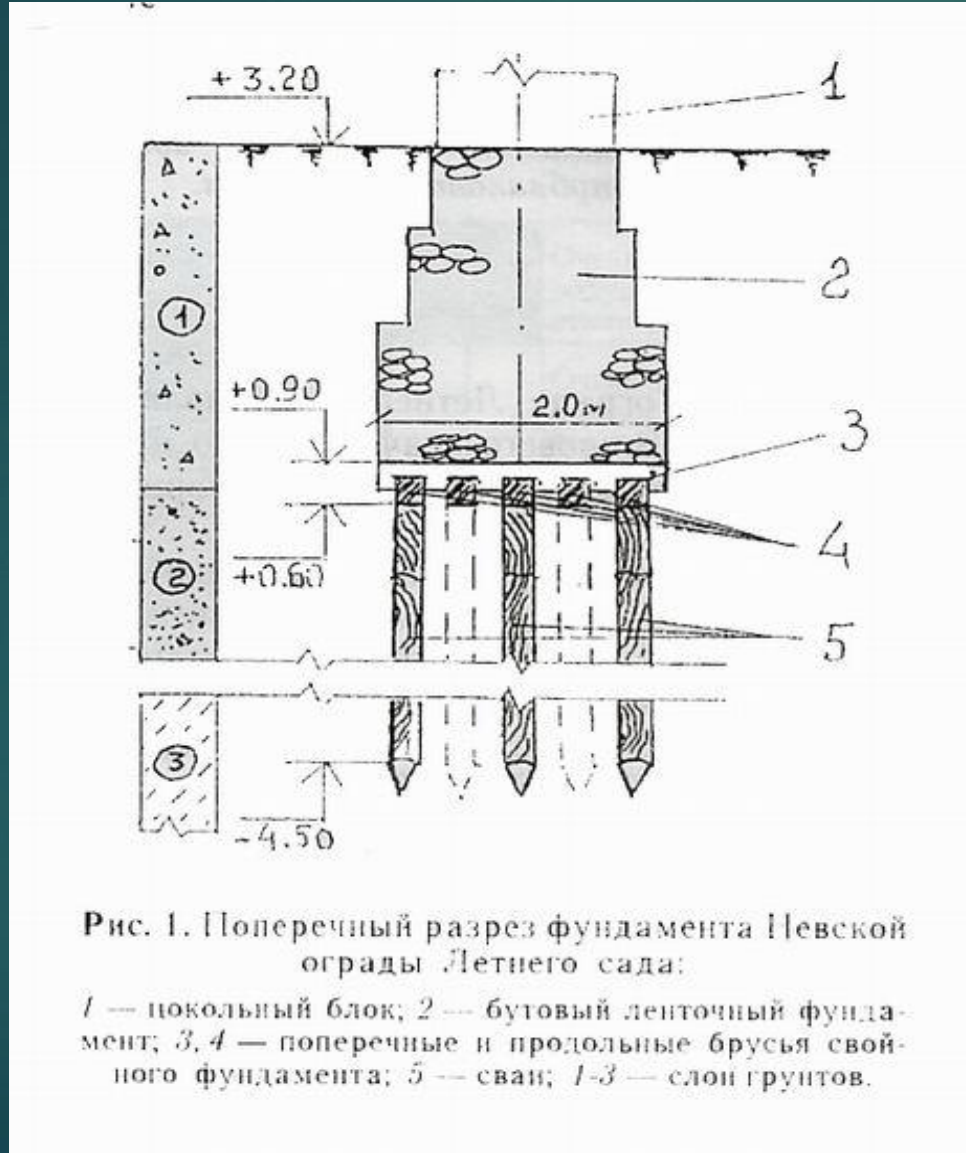
Ограда летнего сада



Строительство 1771 - 1784 гг.

- ▶ Длина ограды 230 м и включает 36 блоков под колонны и 99 рядовых блоков.
- ▶ Осадка цокольных блоков колонн ограды относительно колонны № 20 составила 23-27 см. Относительная разность осадок достигла 0,085.
- ▶ Максимальный крен колонн достиг $i = 0,035$.
- ▶ В результате кованная решетка получила изгибы и повреждения.

Фундамент ограды летнего сада



- ▶ Ленточный бутовый фундамент имеет высоту 2,3 м, ширину подошвы - 2 м.
- ▶ Под подошвой уложены поперечные брусья сечением 25х25 см и общей высотой 0,5 м, опирающиеся на сваи сечением $d = 20$ см и длиной 4-5 м. Сваи размещены в 5 рядов с расстоянием 0,4 м. Шаг свай составляет 1,3 м.
- ▶ Деревянные брусья и сваи на длине 60-70 м полностью сгнили, а на их месте образовались полости заполненные грунтом.
- ▶ Отмечено вымывание водой известкового раствора фундамента и грунта основания - развитие фильтрационно-суффозионных процессов под подошвой и между сваями.

Усиление фундамента ограды летнего сада

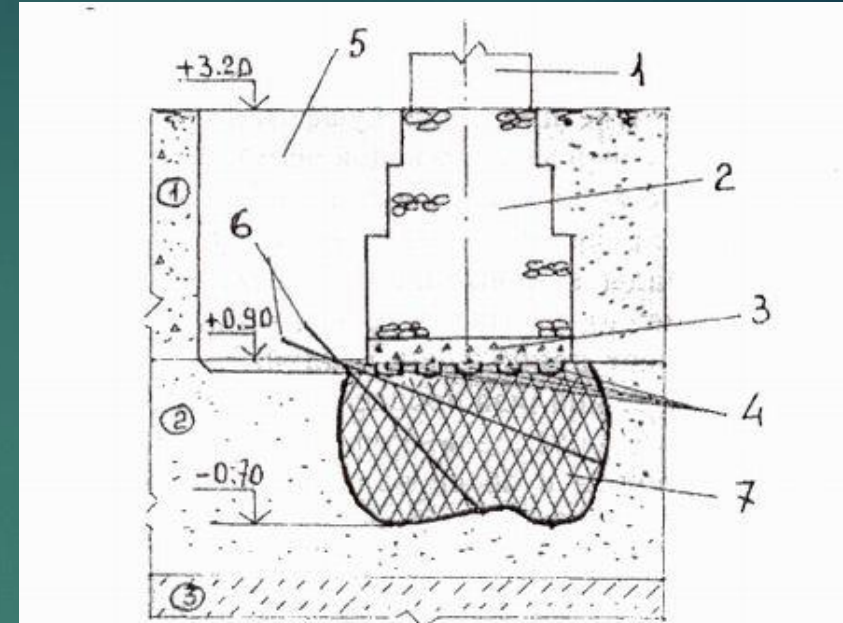
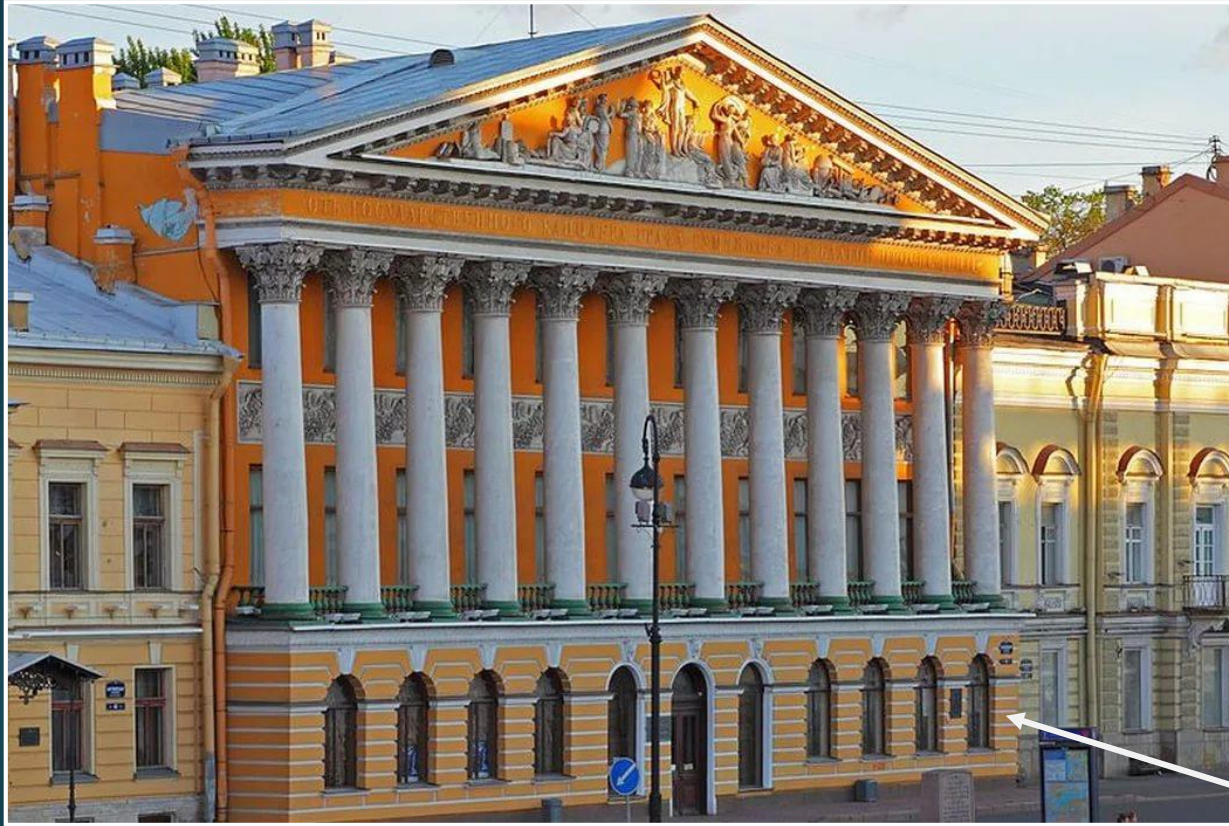


Рис. 2. Схема силикатизации грунта основания фундамента ограды (сваи не показаны):
1, 2 — цокольный блок и ленточный фундамент;
3, 4 — затампированные полости; 5 — шурф;
6 — иньектор; 7 — закрепленный массив;

- ▶ Тампонирувание полостей цементно-песчаного раствора с цементизацией нижней части фундамента
- ▶ Произведено закрепление песчаного грунта основания под участками фундаментов в зоне опирания колонн методом силикатизации и выполнены буроиньекционные сваи.
- ▶ Цоколь и колонны выровнены

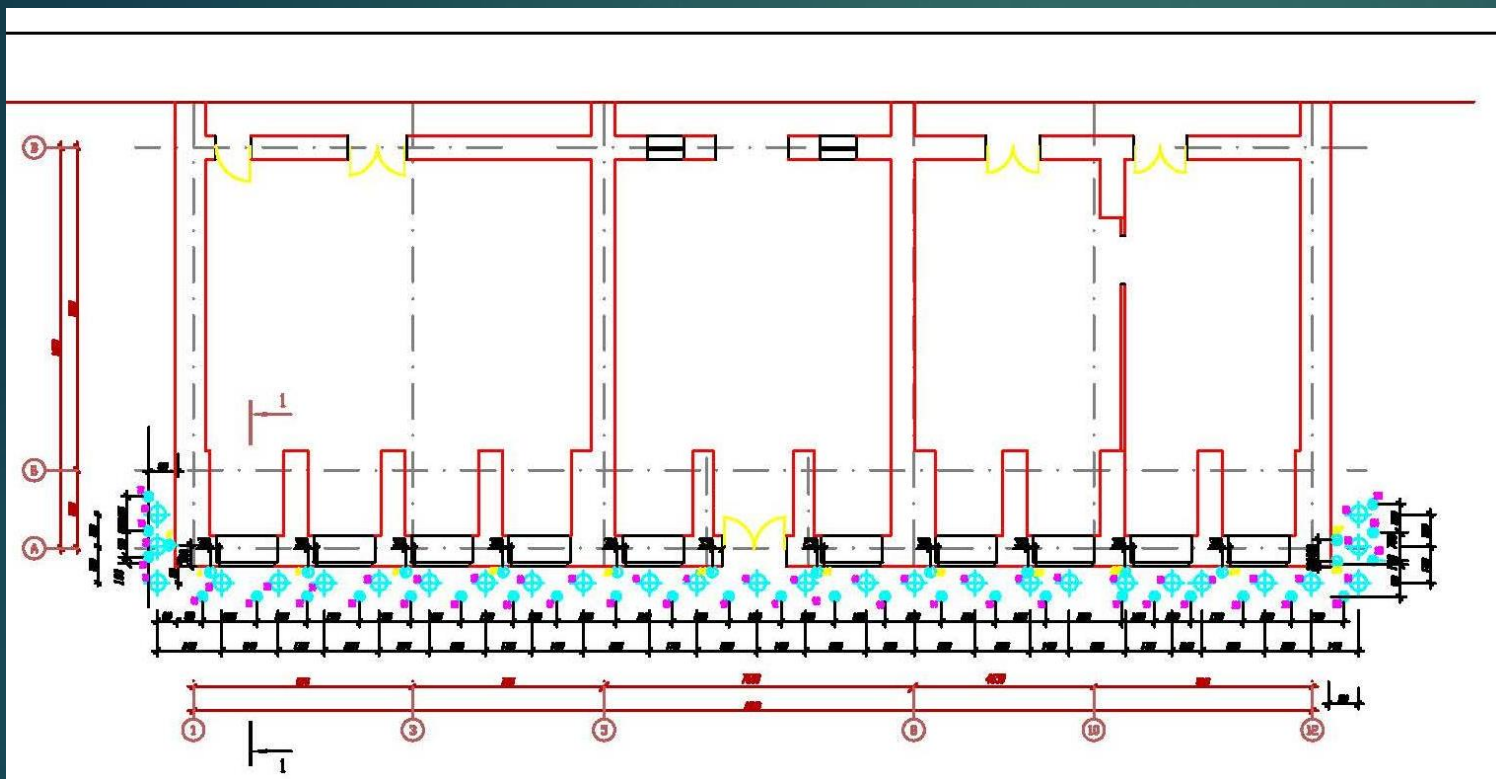
Усиление фундамента портика музея истории Санкт-Петербурга






Дворец Румянцева, арх. Мишель
Вален Деламот, 1770 г.

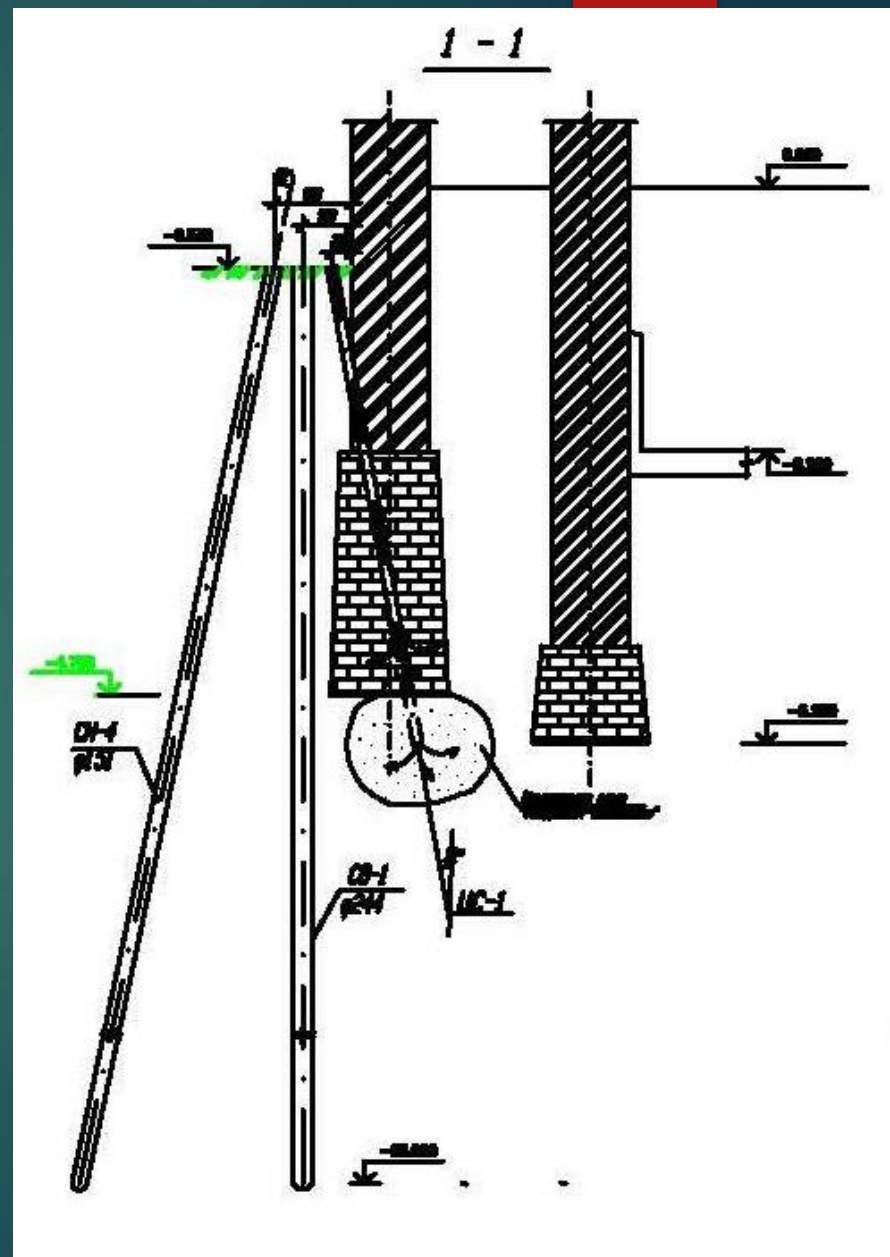


Схема усиления фундаментов наружных стен и портика здания



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

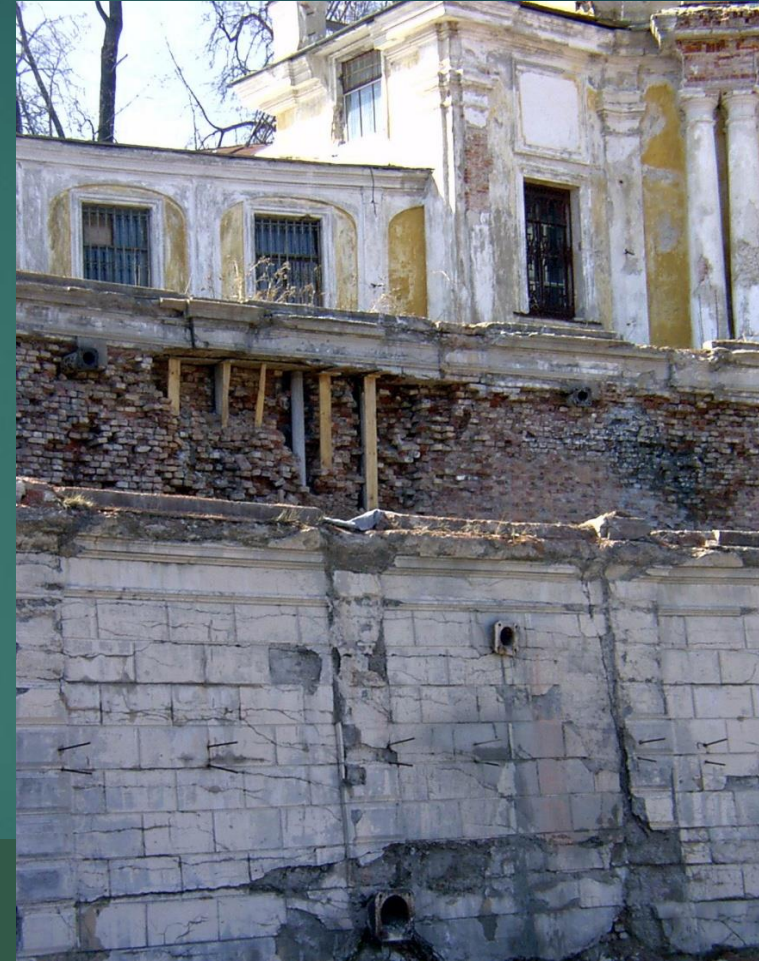
-  - место расположения наклонных бронировочных стержней.
-  - место расположения вертикальных бронировочных стержней.
-  - место расположения горизонтальных стержней.



Музей истории Санкт-Петербурга на Английской наб. 44 после реставрации



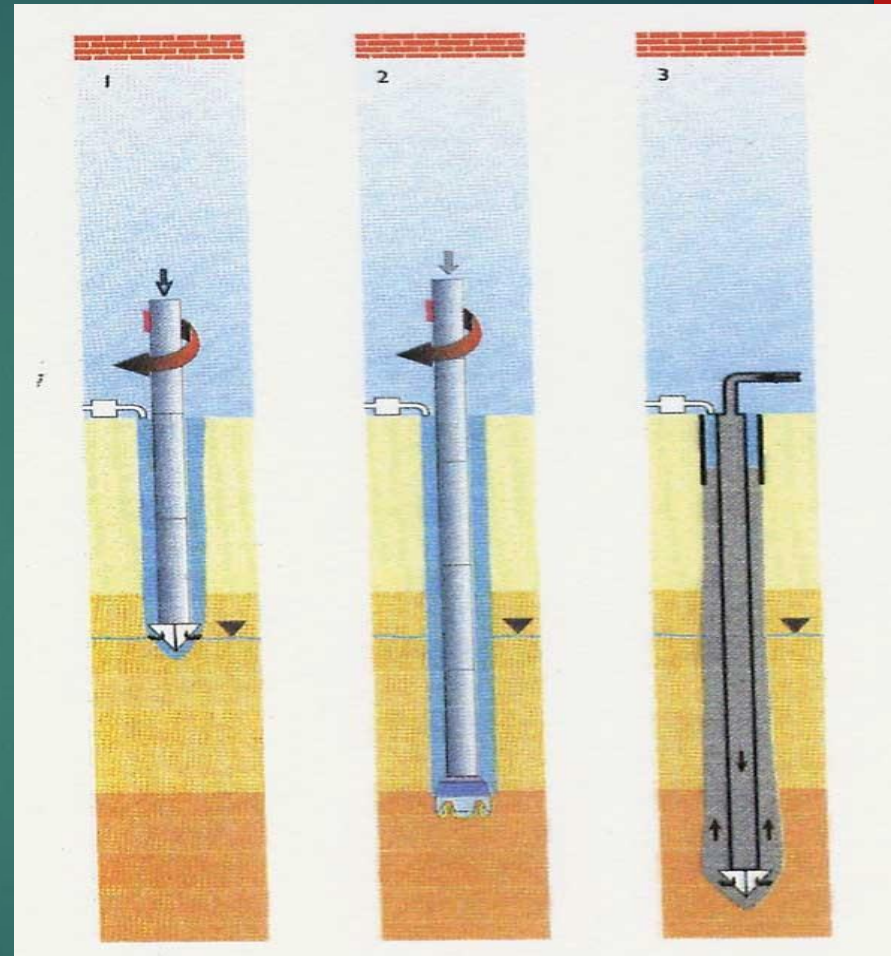
Усиление подпорных стен Меншиковского дворца в Ораниенбауме буринъекционными сваями



Высота подпорных стен 7 и 8 м.

Усиление выполнено в 2002 г. буринъекционными сваями в металлической оболочке длиной 18 – 24 м, диаметром 150-180 мм


The technology of erecting injection piles “Franki”



1. Drilling a chink up to a design mark with washing;
 2. Filling a chink by cement solution.
 3. Reinforcing of a pile by metal pipe for all piles length.
- Diameter of a pile of 150-180 mm.

Supporting wall in Menshikov Palace by injection piles





Приспособление памятников архитектуры к современному использованию

Здание Главного штаба (ансамбль Дворцовой площади)

Архитектор К. Росси (1819 - 1829 гг.)



План восточного крыла здания Главного штаба

План геологических выработок

Дворцовая площадь



Условные обозначения:

- | | | | | |
|--------------|--|-------------------------------|-------------------------|---|
| Ш-1...Ш-18 | | - шурфы ООО "ГЕЯ-БВН" | 1013, 1075, Л-12 и т.п. | - пример маркировки помещений в котором или рядом с которым произведена выработка |
| ША-1...ША-10 | | - шурфы архитекторов | тдз-1...тдз-18 | ▼ - точки динамического зондирования ООО "ГЕЯ-БВН" |
| ШЛ-1...ШЛ-8 | | - старые шурфы "ЛенЖилпроект" | 1...7 | - номера точек ультразвуковой диагностики ООО "ГЕЯ-БВН" |
| ШП-11 | | - старый шурф ЗАО "Петергиб" | С1...С18 | ● - точки бурения скважин ООО "БИРС" |

Примечания:

- Шурфы Ш-1, Ш-4, Ш-6, Ш-7, ША-1...ША-7 выполнены в подвальной помещении, а на плане первого этажа показаны условно.
- Для привязки выработок, на плане введены дополнительные оси: 19', П, Д1, Е1, Е2, Л

Результаты обследования фундаментов здания Главного Штаба

Геологический разрез по скважине №

Начата 20.02.03
Окончена 20.02.03
Отметка устья 2,7 м
Общая глубина 40,00 м

Геологический индекс	Мощность слоя, м	Глубина слоя, м	Абс. отметка подошвы слоя, м	Геолого-литологический разрез
tg IV	2.70	2.70	0.00	①
m, I IV	0.90	3.60	-0.90	②
m, I IV	3.20	6.80	-4.10	③
m, I IV	5.20	12.00	-9.30	④
Ig III	9.30	21.30	-18.60	⑤
Ig III	0.70	22.00	-19.30	⑥
Ig III	2.20	24.20	-21.50	⑥
g III	15.8	40.00	-37.30	⑩

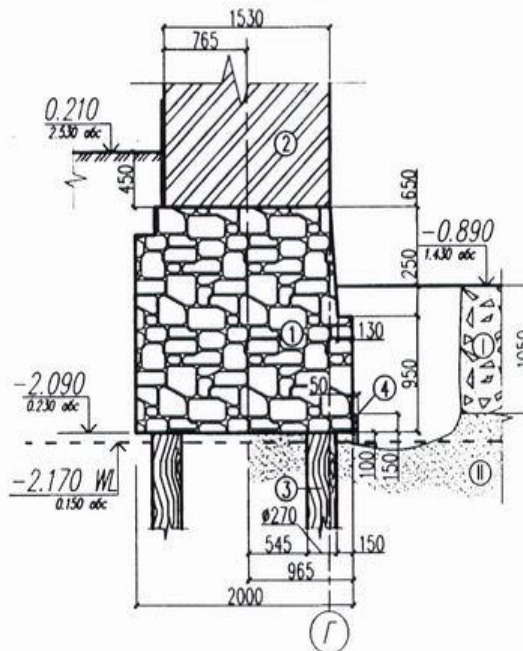


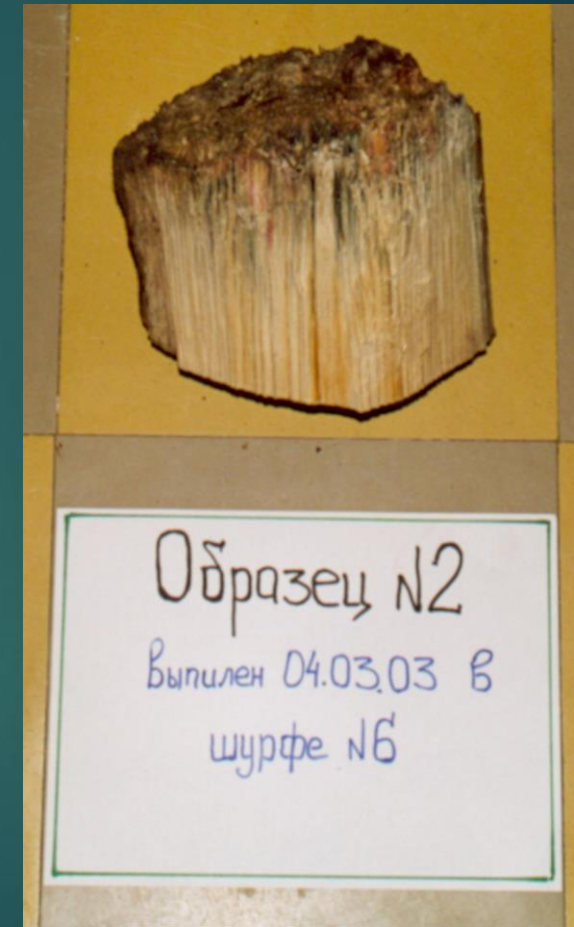
Рис. 2. Характерный разрез фундамента в шурфе: 1 - бутовый фундамент; 2 - наружная кирпичная стена; 3 - деревянная свая; 4 - доска вдоль фундамента I - насыпной песчаный грунт с обломками известняка; II - песок пылеватый серый

Результаты обследования:

- Бутовые фундаменты опираются на деревянные сваи.
- В верхней части свай наблюдаются следы гниения.
- Бутовые ленточные фундаменты под внешние стены имеют глубину заложения от 2,1 до 2,7 м. Внутри подвала от 0,68 до 1,2 м. Ширина подошвы от 1,13 до 2,48 м.
- Фундаменты имеют недостаточную прочность для восприятия дополнительной нагрузки.

Обследование проведено в в 1984 г.
Ленжилпроектом, в 2002-2003 годах ЗАО «Гея»,
АОЗТ «Геостатика» и ЗАО «ЛентИСИЗ»

Деревянные сваи под подошвой фундамента восточного крыла здания Главного штаба



Общий Вид и образец деревянной сваи под подошвой фундамента в шурфе № 6 (по результатам обследования каф. Геотехники СПбГАСУ)

Деревянные сваи под подошвой фундамента восточного крыла здания Главного штаба

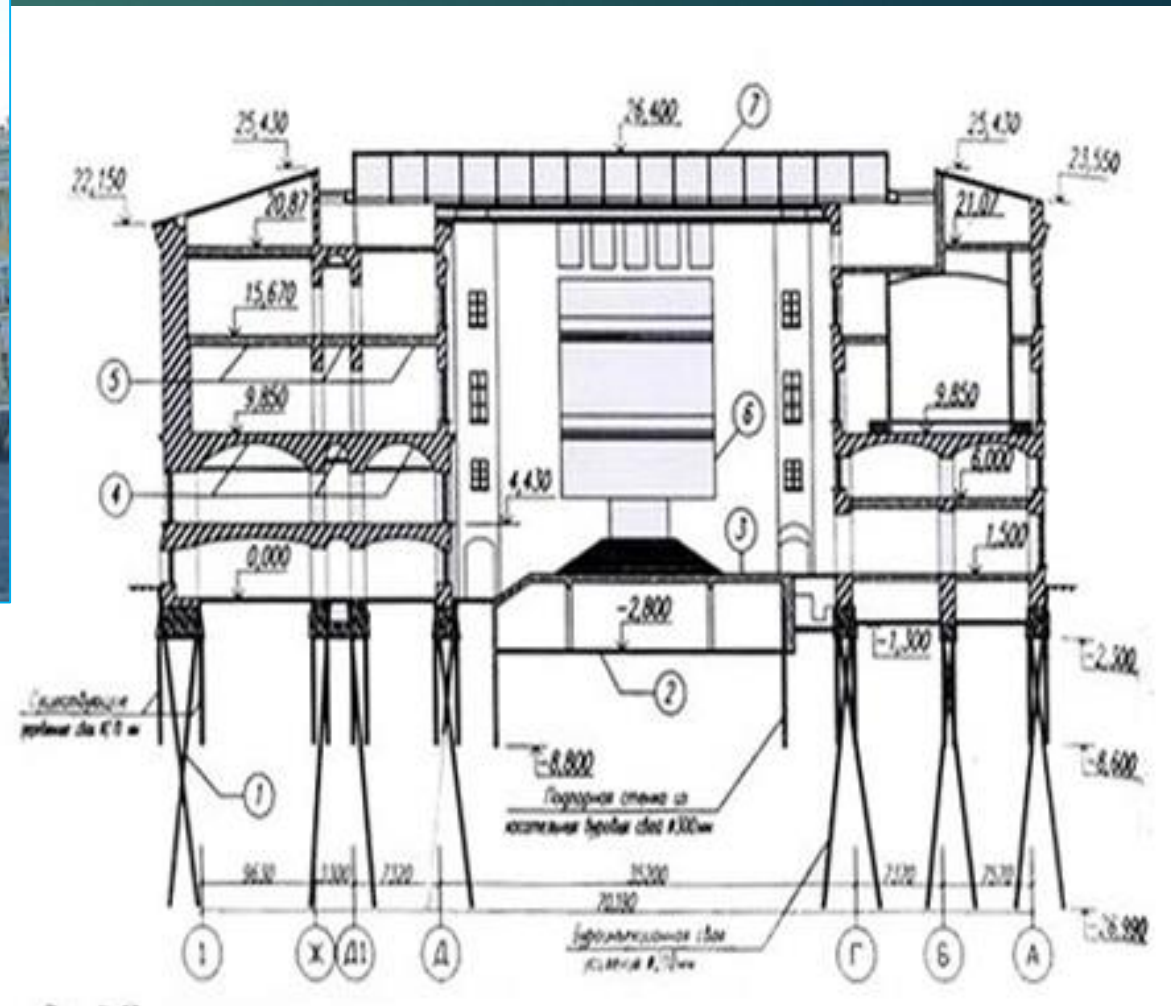


Общий вид и образец головы деревянной сваи под подошвой фундамента по оси И в шурфе № 2 (по результатам обследования каф. Геотехники СПбГАСУ)

Реконструкция и реставрация восточного крыла здания Главного штаба (Проект архитектора Н.И. Явейна, подземные работы ЗАО Геоизол)



Восточное крыло здания Главного штаба







Проект архитектора Н.И. Явейна



Михайловский (Инженерный) замок Санкт-Петербурга



Постройка 1796-1801 гг.

Архитекторы: В.И.Баженов,
Винченцо Бренна

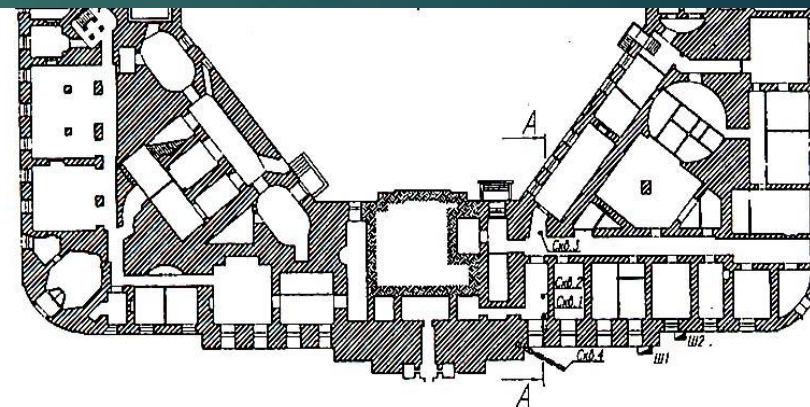
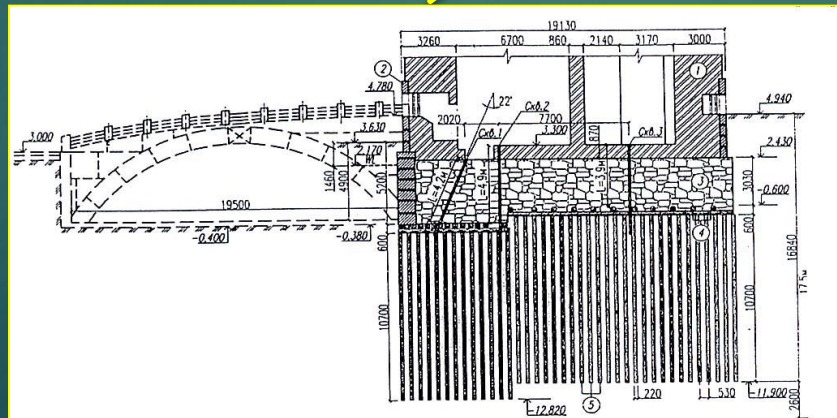
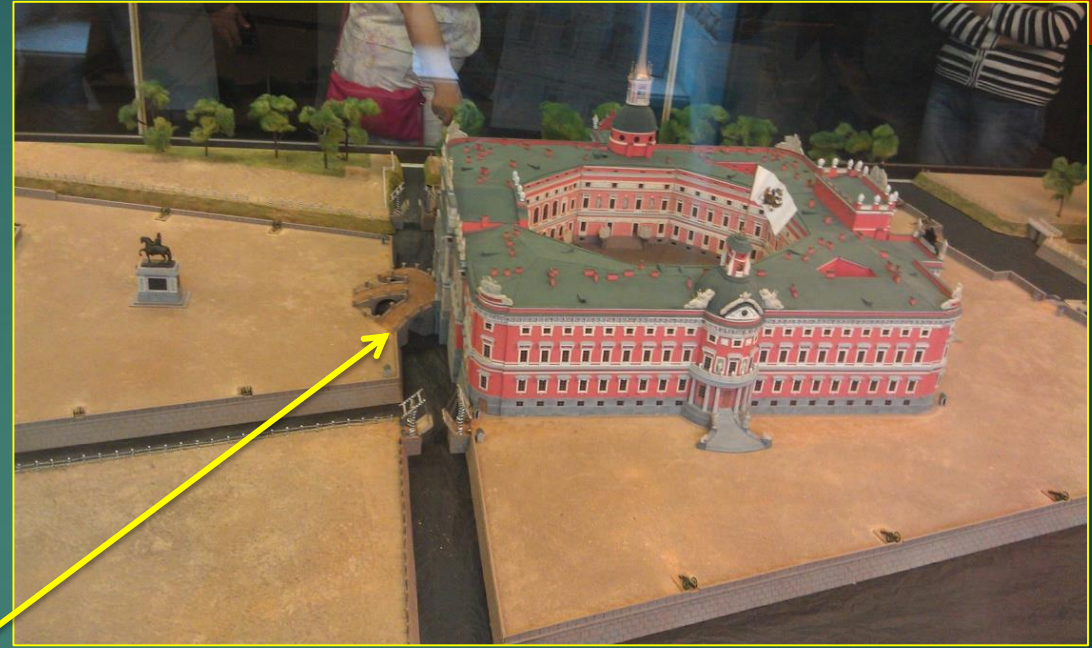


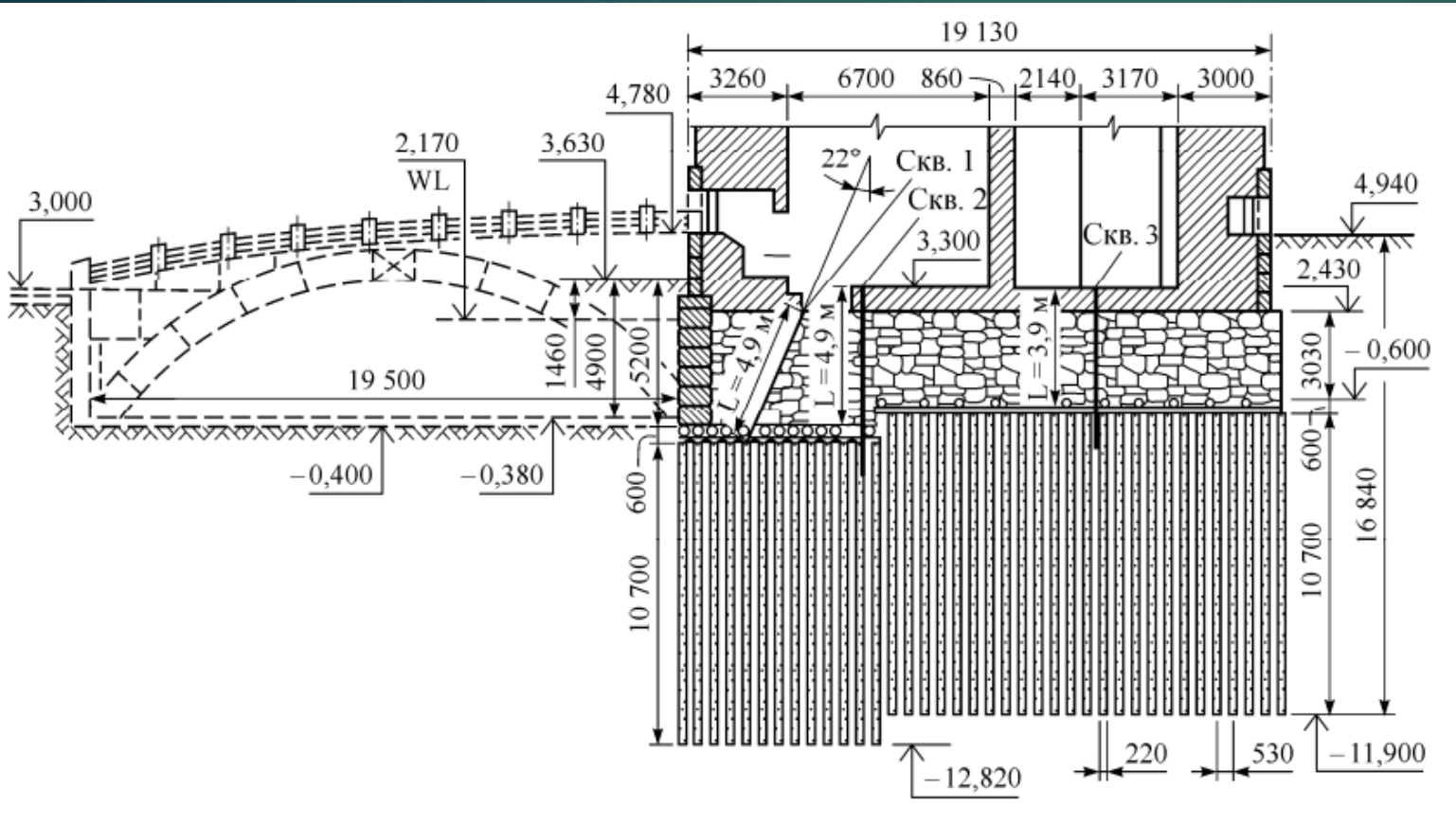
Рис.2. План подвала южного фасада Михайловского замка с геологическими выработками
■ - шурфы; ● - разведочные скважины; ▨ - кирпичные стены; ▩ - отсутствие подвала

Восстановление исторического Воскресенского канала около Михайловского Дворца



Разрез по А-А (см.рис.2) восстанавливаемого Воскресенского канала и поперечника южного фасада подвальной части замка:
1 - кирпичная кладка на известково-песчаном растворе; 2 - серый гранитный облицовочный камень; 3 - бутовая кладка из рваного известняка на известково-песчаном растворе; 4 - ростверк; 5 - сваи

Обследование фундаментов и схема восстанавливаемого Воскресенского канала и южного фасада подвальной части Михайловского замка



- ▶ Бутовая кладка в виде сплошной плиты толщиной 2,1-3,9 м
- ▶ Ростверк из двух рядов стволов хвойных деревьев
- ▶ Под плитой сплошное свайное поле. Длина свай 6,4-10,7 м
- ▶ Обследованием 2002 г. (установлено:
 - ▶ а) ростверк, деревянные сваи ф-та и основание в удовлетворительном состоянии;
 - ▶ б) устройство канала до проектной отметки не вызовет потери устойчивости основания фундаментов замка;
- ▶ Рекомендовано устройство дна котлована выше подошвы ростверка, т.е. таким образом, чтобы головы свай оставались ниже уровня подземных вод даже при осушении канала

Восстановление в 2003 году участка Вознесенского канала

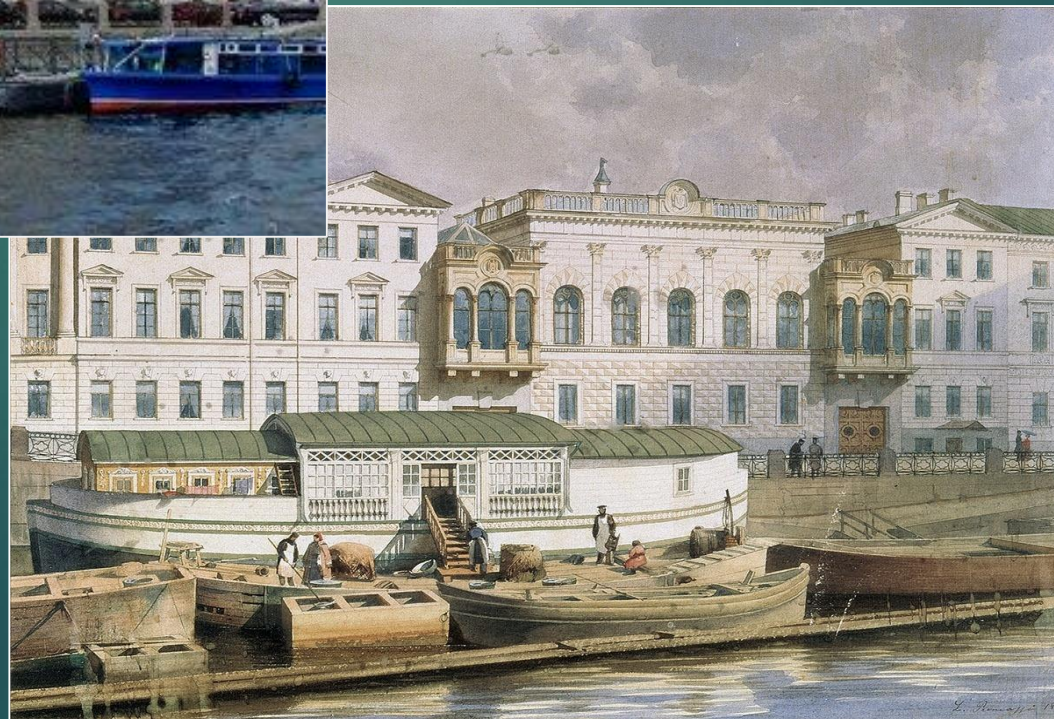


Устройство подземного пространства во внутреннем дворе дворца Нарышкиных-Шуваловых (XVIII- начало XIX века)

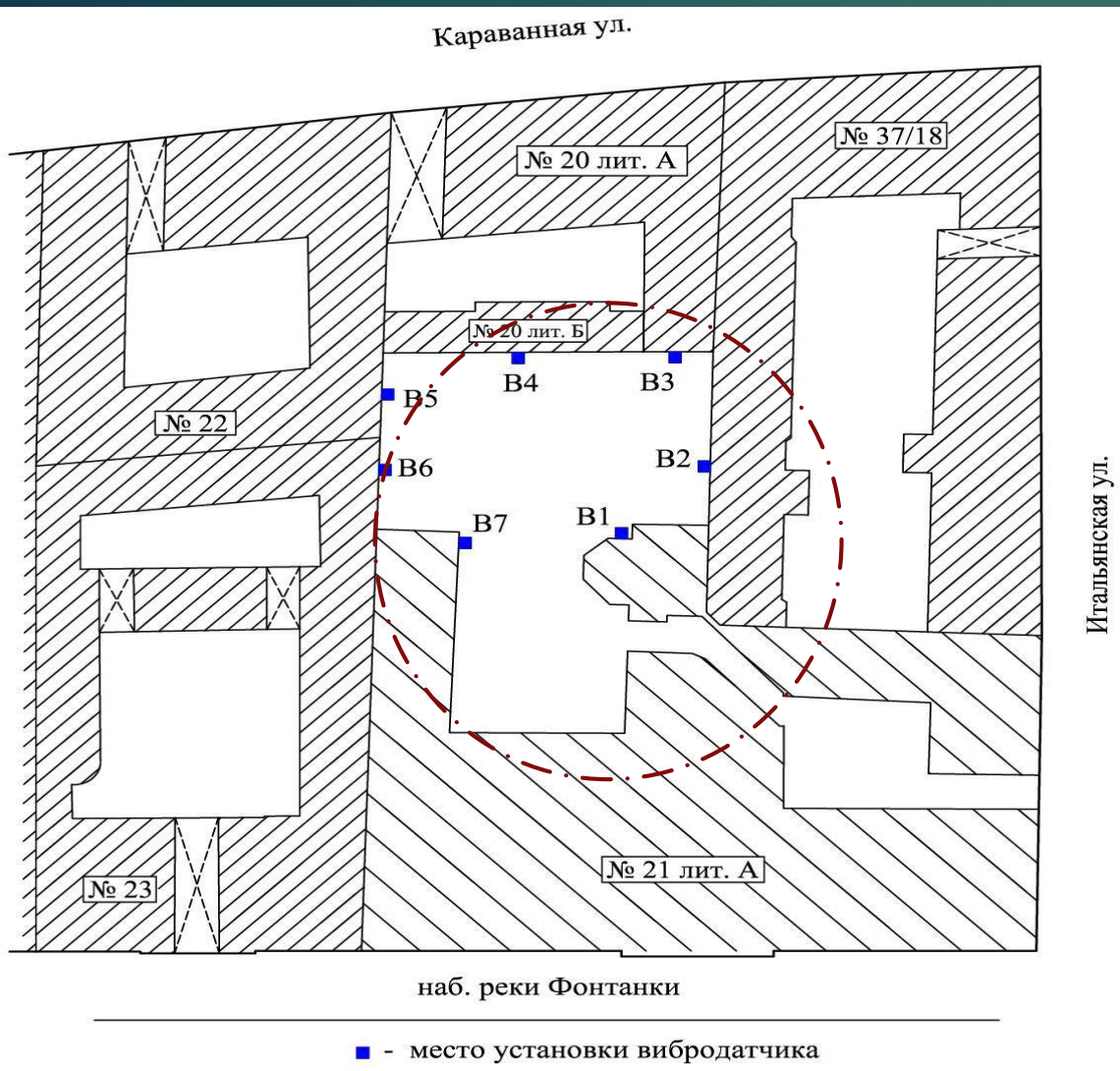


Архитекторы:
Н.Е. Ефимов, Бернар де Симон.

Стиль - эклектика



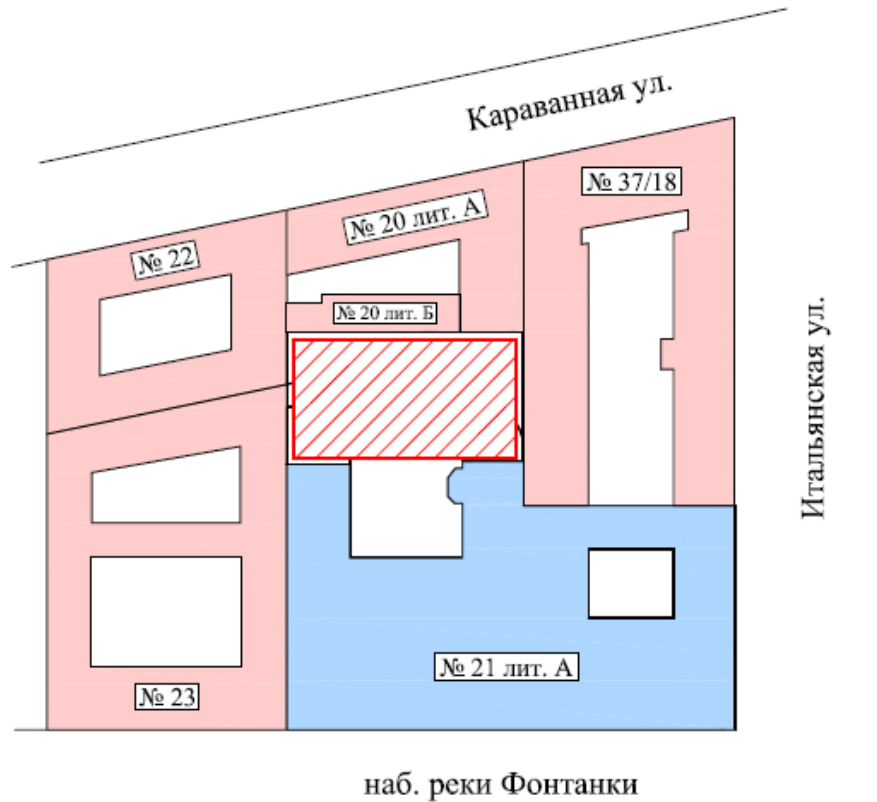
Вид внутреннего двора в процессе разборки старой пристройки






Итальянская ул.



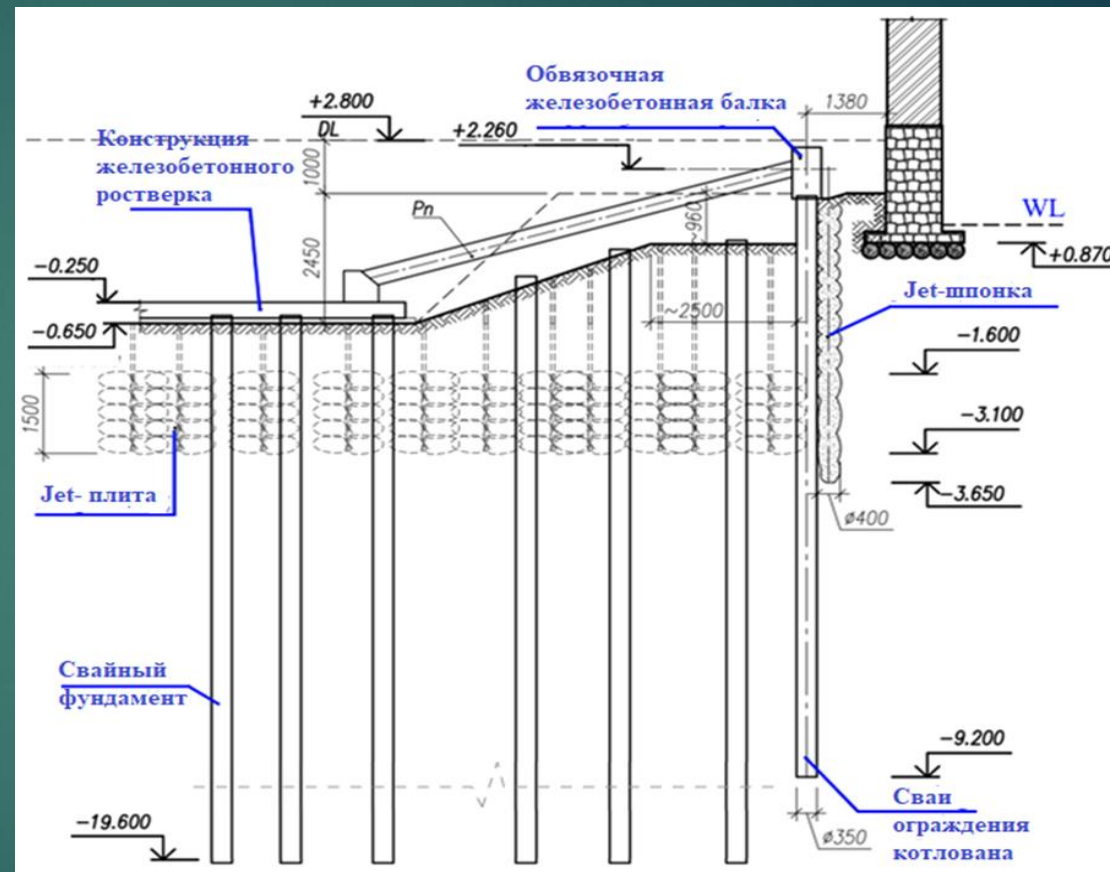
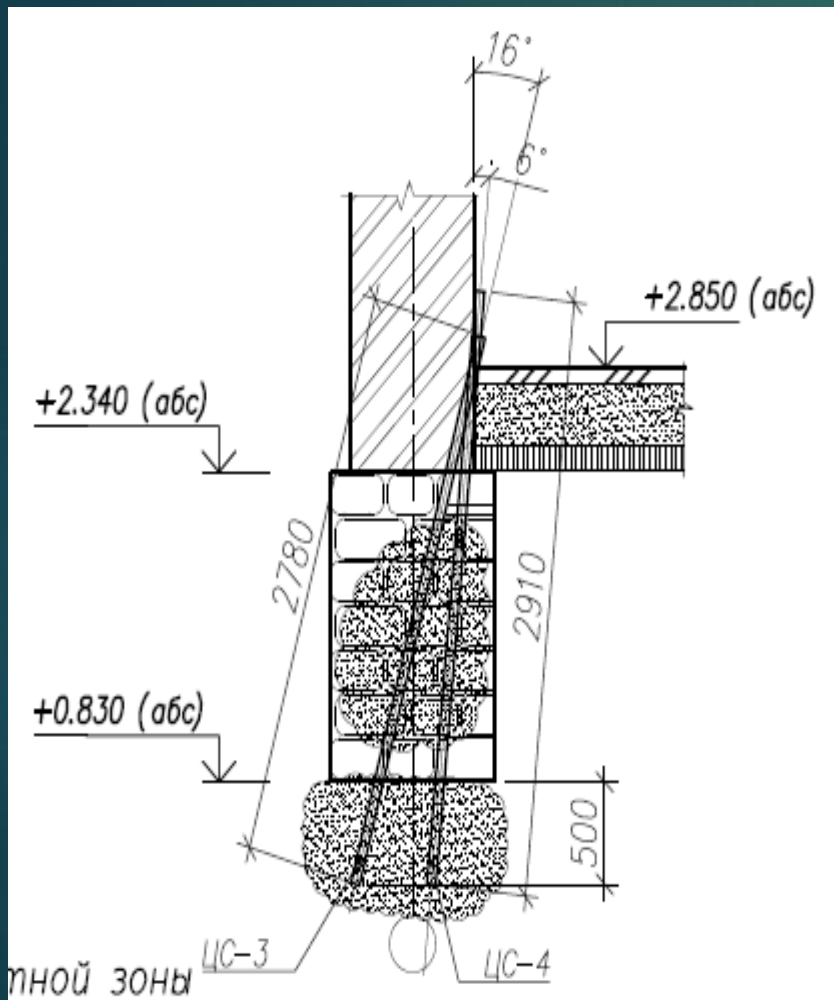
Реконструкция внутреннего двора



-  реконструируемое здание
-  здания окружающей застройки
-  площадка строительства



Схемы устройство подземной части усиления фундаментов соседних зданий



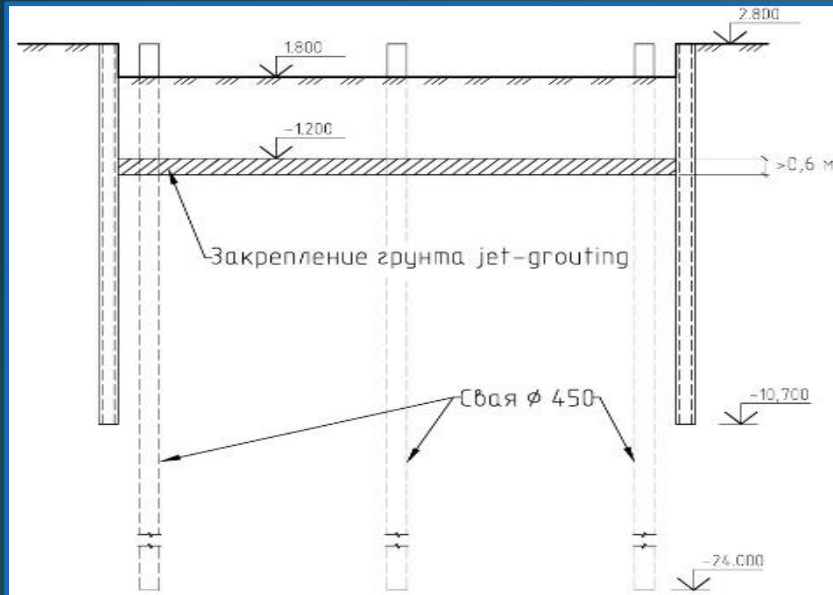
Технология устройства подземной части во внутреннем дворе дворца: буронабивные сваи $D=450$ мм, $L=14$ м и 24 м грунтоцементная диафрагма $b=0,6$ м

Усиление фундаментов соседних зданий

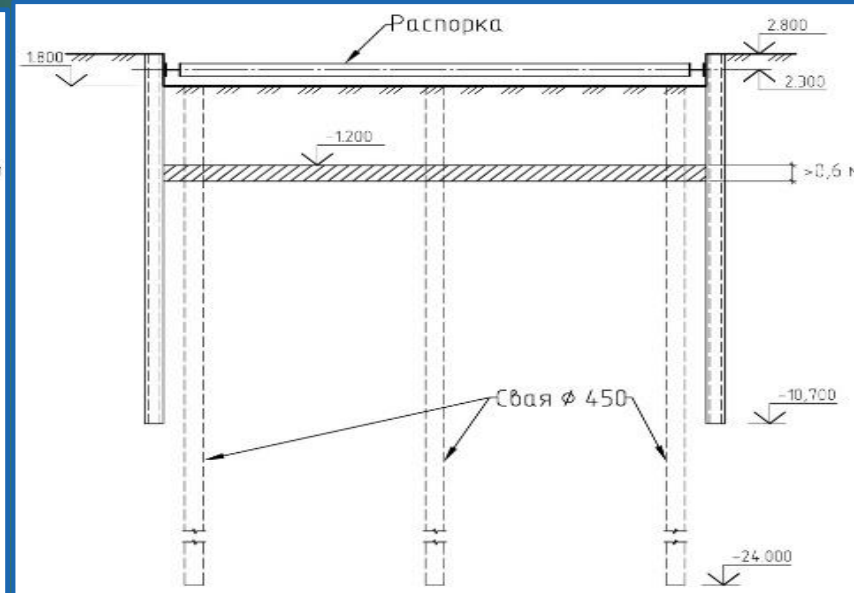
Основные этапы откопки котлована

40

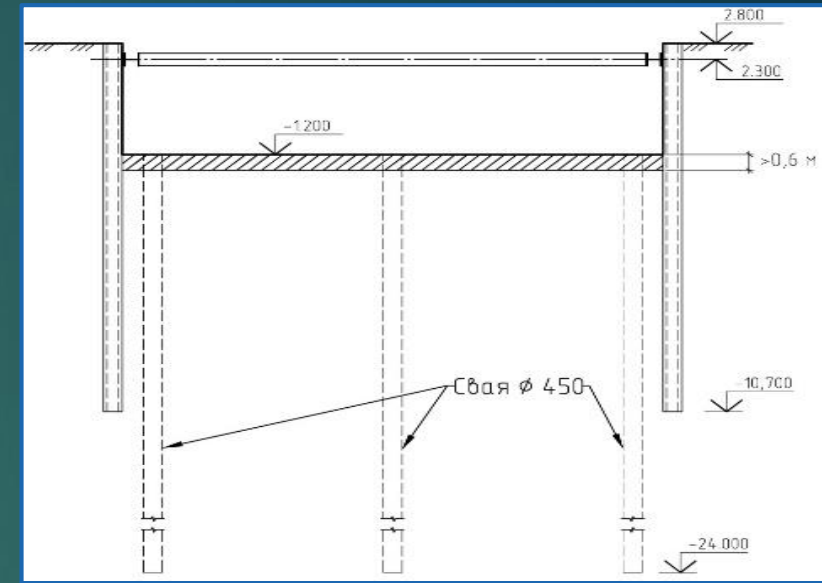
а)



б)



в)



а – устройство конструкции ограждения котлована б/н сваи 14 м, устройство свай б/н свай 24 м, закрепление грунта ниже дна котлована, отрывка пионерного котлована на глубину 1 м;

б – устройство горизонтальной распорной системы, толщиной 0,6 м;

в – откопка котлована глубиной 3,4 м до проектной отметки

Процесс строительства подземной части



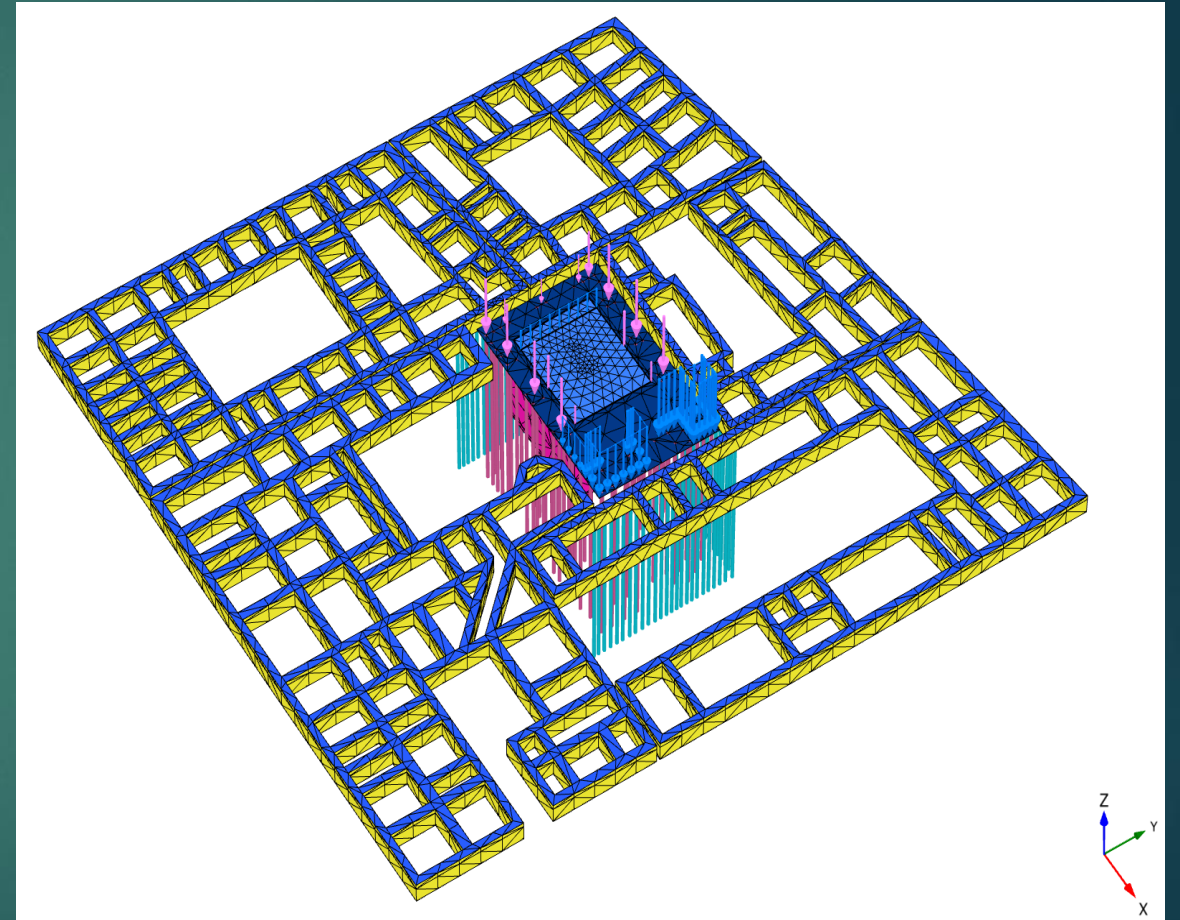
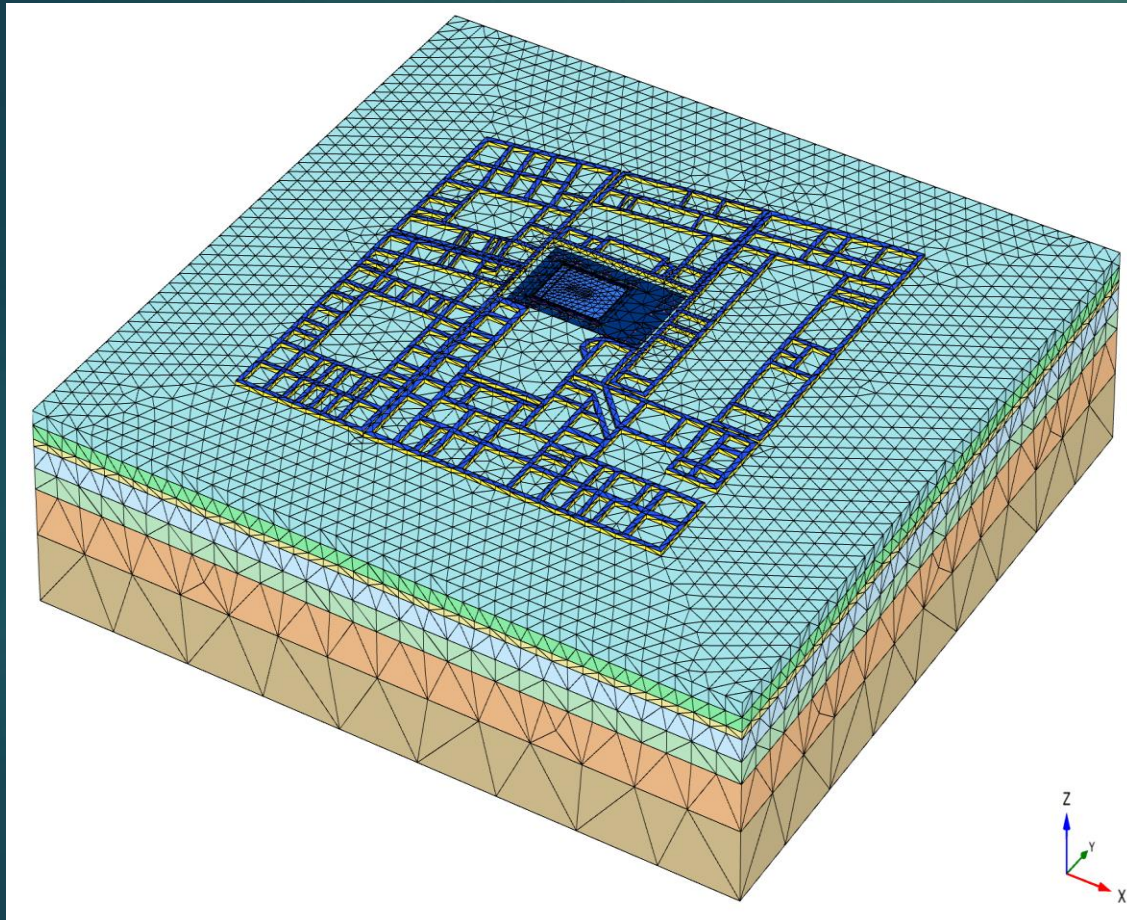
Усиление фундаментов соседних зданий



Технология устройства подземной части во внутреннем дворе дворца

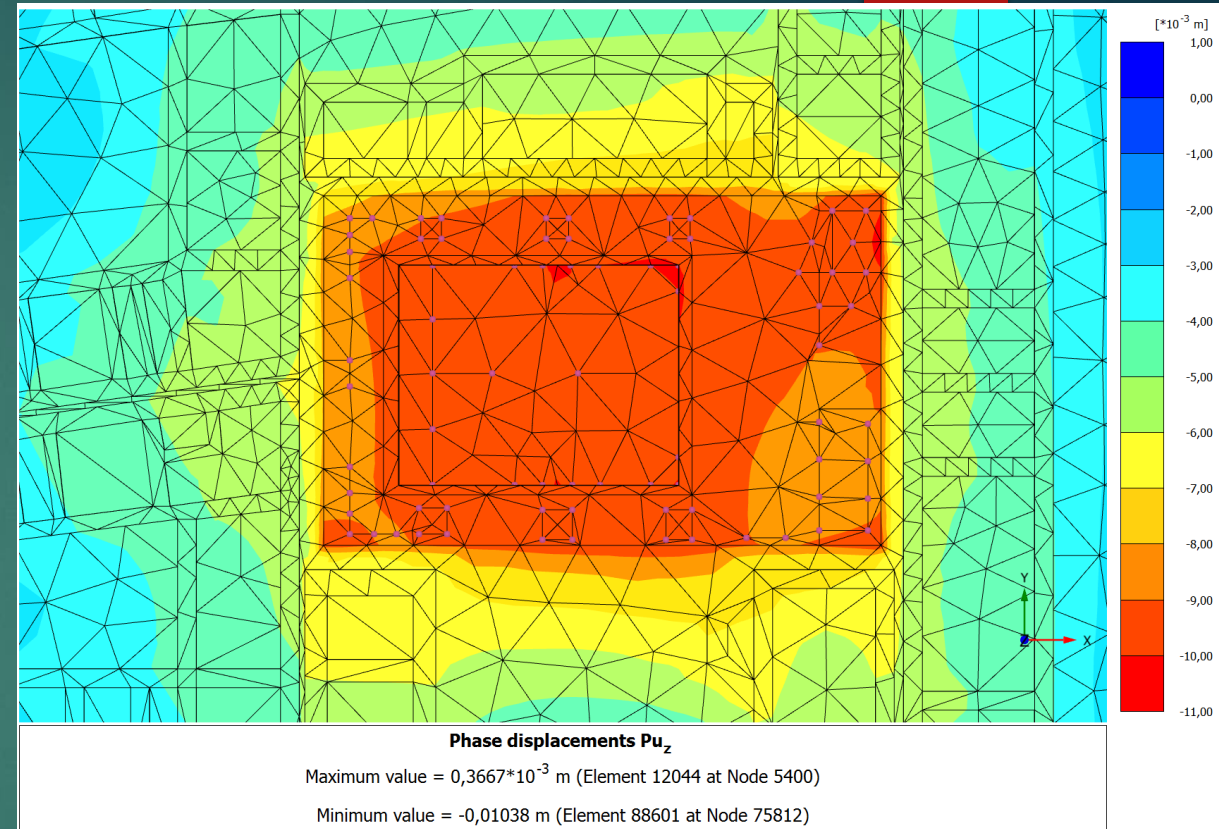
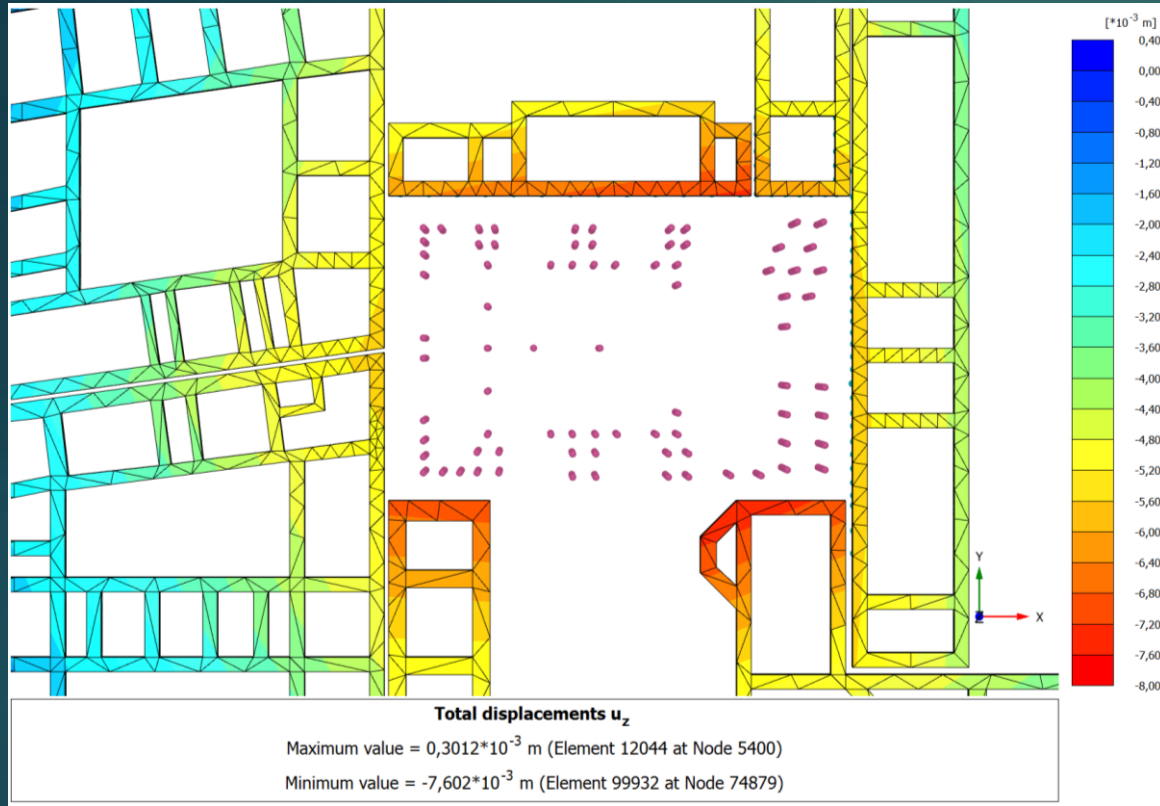


Общий вид расчётной схемы МКЭ

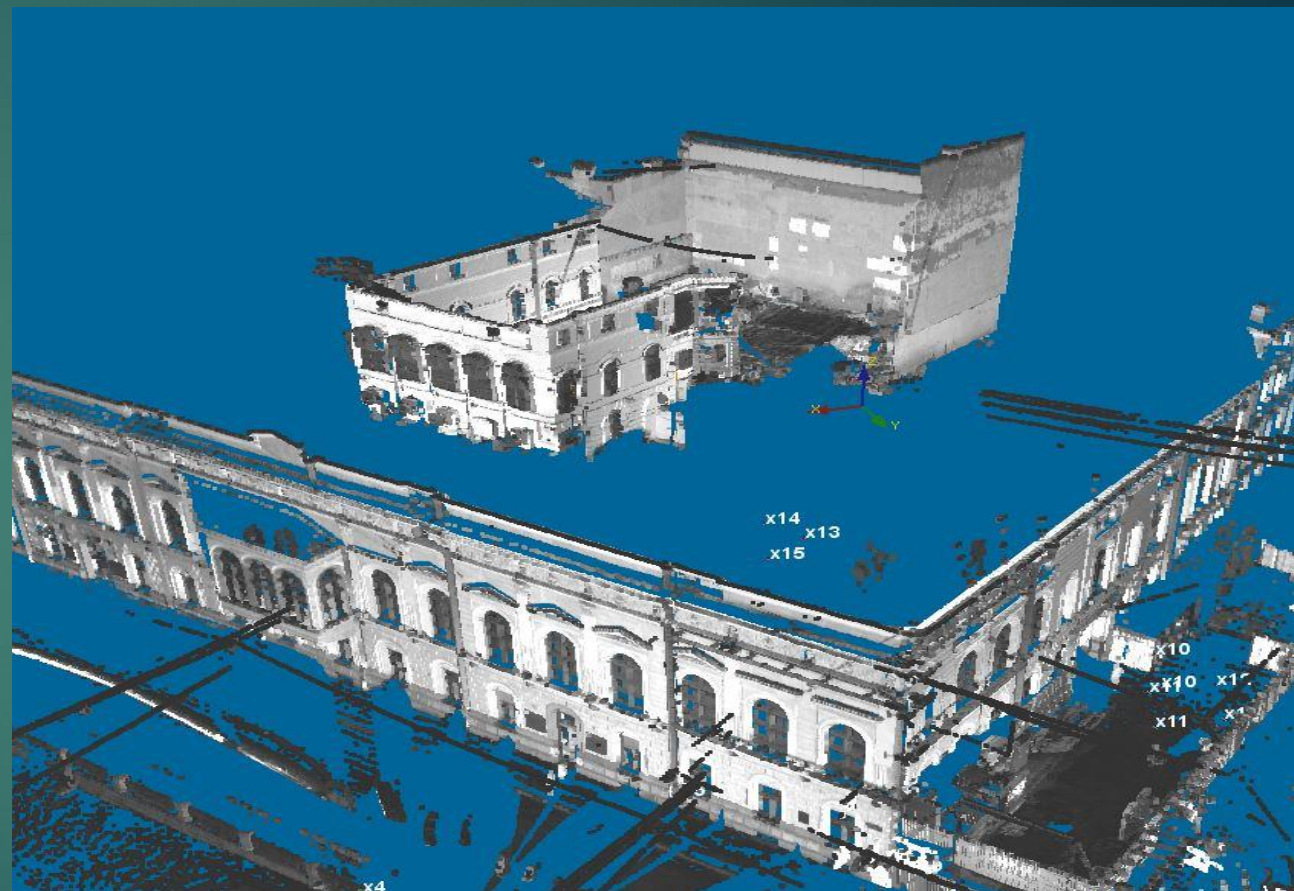
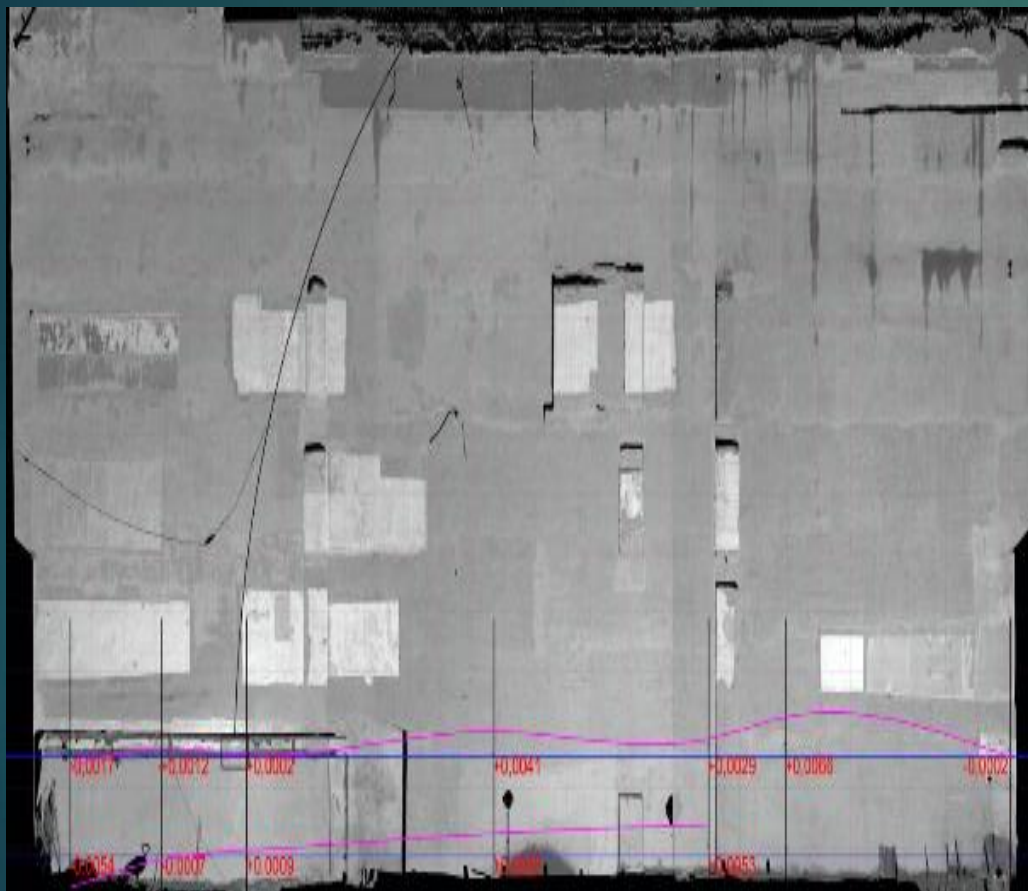


Дополнительные осадки зданий окружающей застройки после 3-го этапа расчёта с учётом усиления фундаментов сваями

Осадка проектируемого объекта



Геотехнический мониторинг, как гарантия безопасности



Выполнено дискретное 3D-сканирование для мониторинга сложной деформации зданий соседней застройки

Сопоставление расчетных и измеренных осадок зданий окружающей застройки.

Сооружение	$S_{расч.}$	S_U	$S_{факт.}$ (апр. 21г.)
Дом № 21 лит. А	3,8 мм	10 мм	5 мм
Дом № 20 лит. А	4,7 мм	5 мм	5 мм
Дом № 21 лит. Б	5,2 мм	10 мм	6 мм
Дом № 22	3,9 мм	5 мм	2 мм
Дом № 23	3,9 мм	5 мм	4 мм
Дом № 37/18	4,6 мм	5 мм	4 мм

Здание Павловских казарм, 1817-1818 гг., Василий Стасов



Фасад Павловских казарм

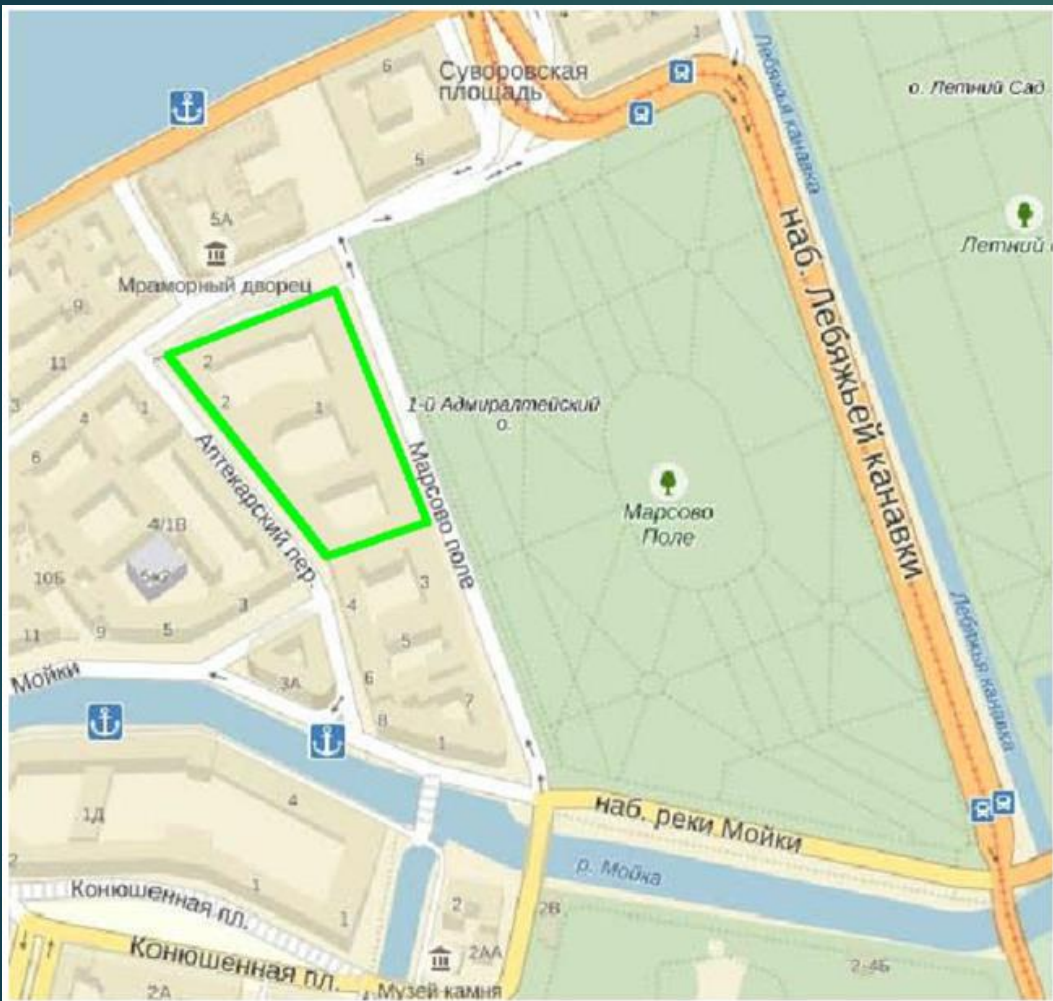


Здание казарм лейб-гвардии Павловского полка — одна из первых работ архитектора в Петербурге. Стасов перепланировал и «одел» существовавшие тогда постройки единым фасадом, сохраняя пропорции и частично - первый ярус здания Воспитательного дома (арх. Фельтен), рустованная стена которого разбита аркадой окон первого этажа и сохранившимися полуциркульными окнами.



В 2016 г. Главгосэкспертиза России согласовала проект реставрации и реконструкции здания казарм Павловского полка с приспособлением для современного использования под гостиницу на 108 номеров с подземным паркингом на 97 машиномест, физкультурно-оздоровительным комплексом с тренажерным залом и бассейном.

Здание лейб-гвардии Павловского полка



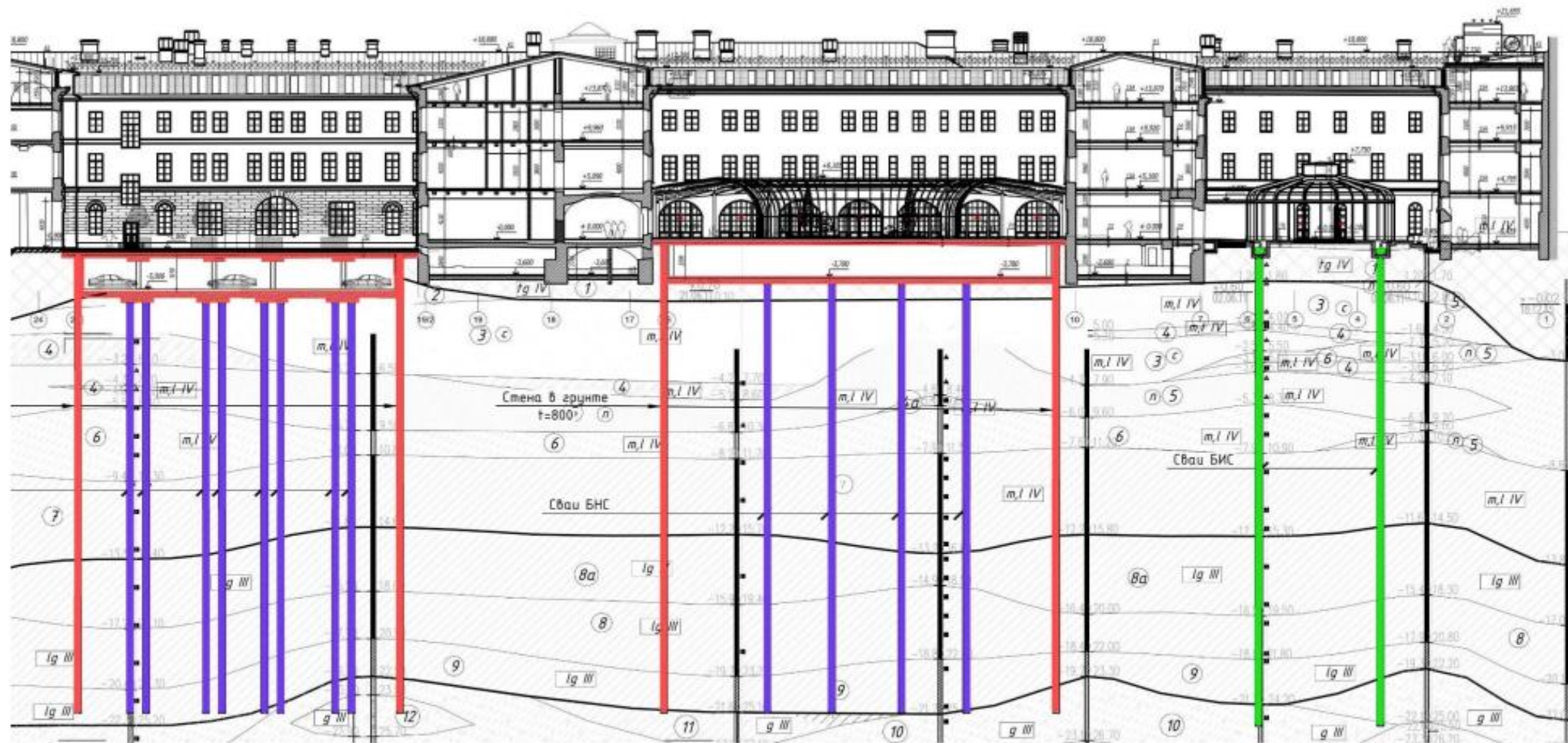
Марсово поле



Строительный объем подземной части здания – 32 269 куб. м.

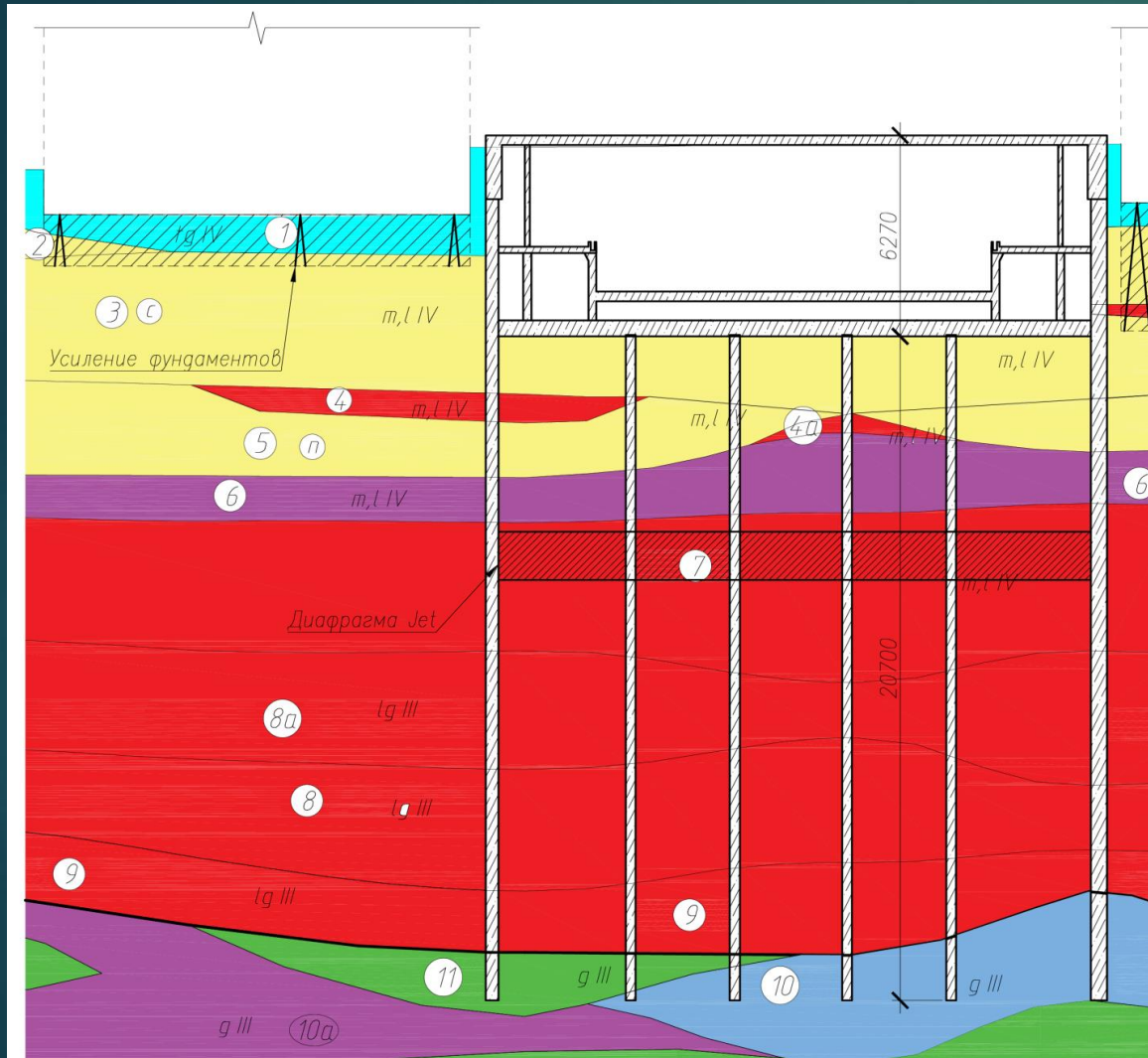
Разработка котлована глубиной 5 м в стесненных условиях.

Высота потолка паркинга 3 150 мм, зоны SPA – 3 200 мм.



Для организации подземного пространства внутри дворов выполнена ограждающая конструкция котлована по технологии «стена в грунте». Основание – фундаментная плита на буронабивных сваях.

Проектное решение подземной части внутреннего двора № 2

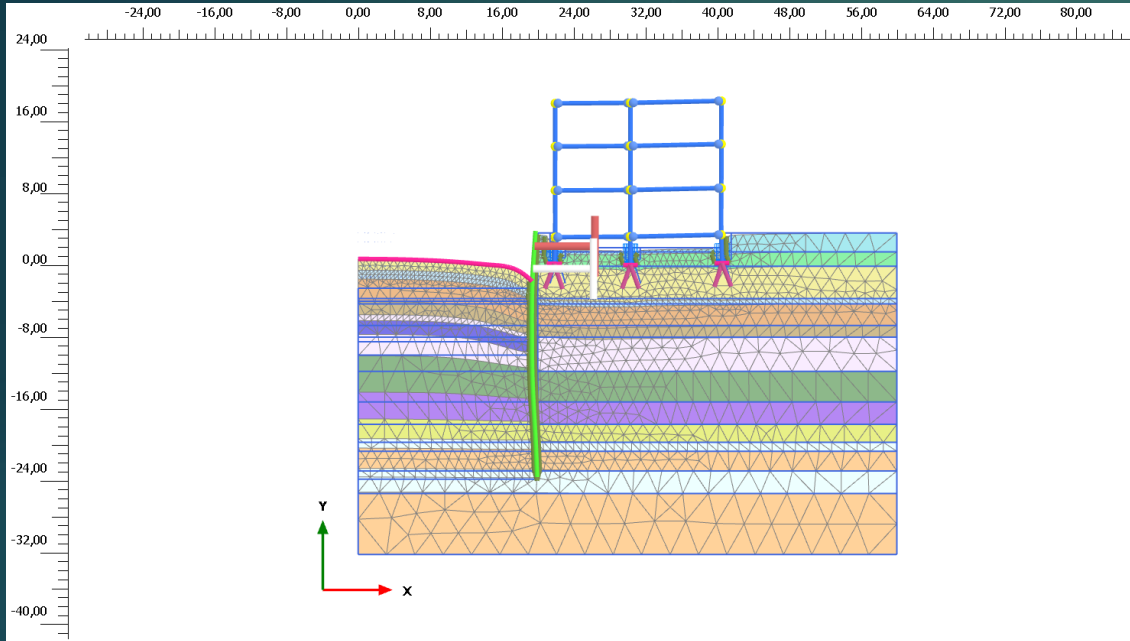


► Особенности проектного решения :

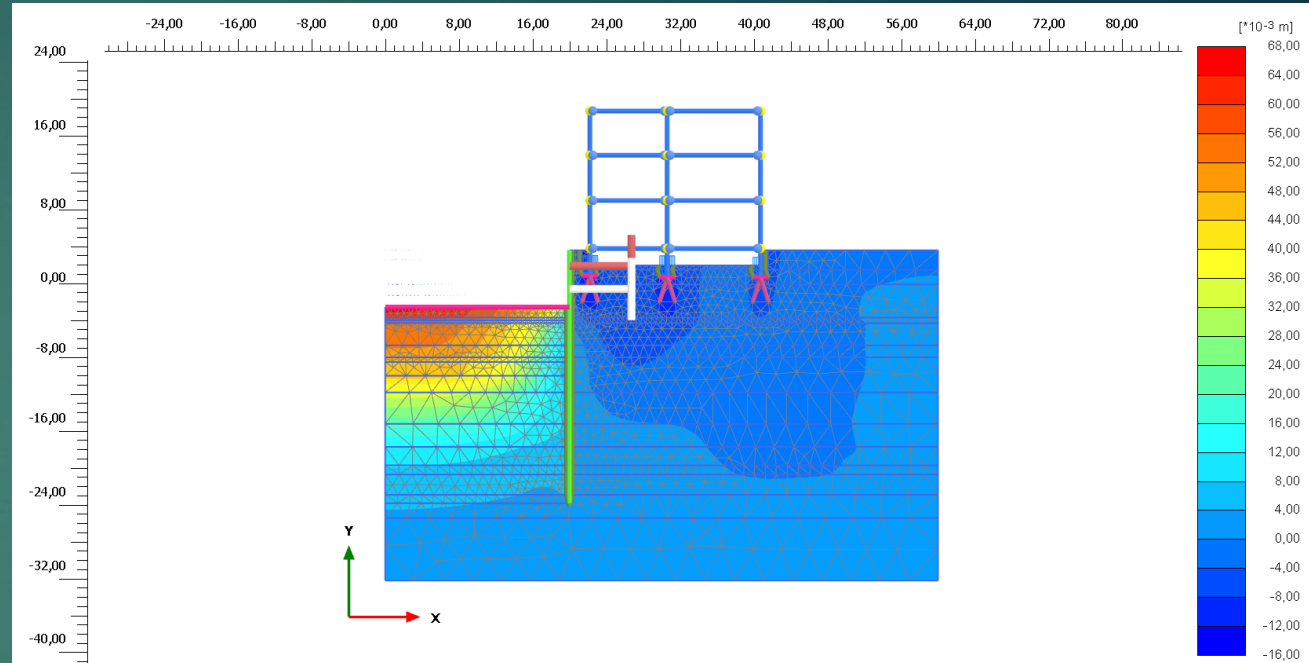
1. Использование в качестве ограждающей конструкции котлована глубиной 6,2 м траншейной стены в грунте толщиной 800 мм и высотой 20,7 м.
2. Для раскрепления котлована устраивается 2 яруса распорной системы.
3. Ниже дна котлована устраивается дополнительный распорный уровень на глубине от 12 до 13,5 м путем цементации грунта по технологии Jet-Grouting.

Расчетное обоснование проекта

Деформированная схема при устройстве jet-диафрагмы



Изополюса вертикальных деформаций (дополнительная расчетная осадка – 14 мм < 15 мм – условие СП 22.13330.2016 выполнено)



Сводная таблица значений расчетных, фактических и допускаемых дополнительных осадок

Допускаемая осадка по СП 22	Расчетная доп. осадка здания	Фактическая суммарная осадка по результатам мониторинга (с 2018 по 2021 год)	Допускаемая осадка по расчету
15 мм	14 мм	36 мм	35 мм

Total displacements u_y (scaled up 20,0 times)

Maximum value = 0,06511 m (Element 3488 at Node 4328)

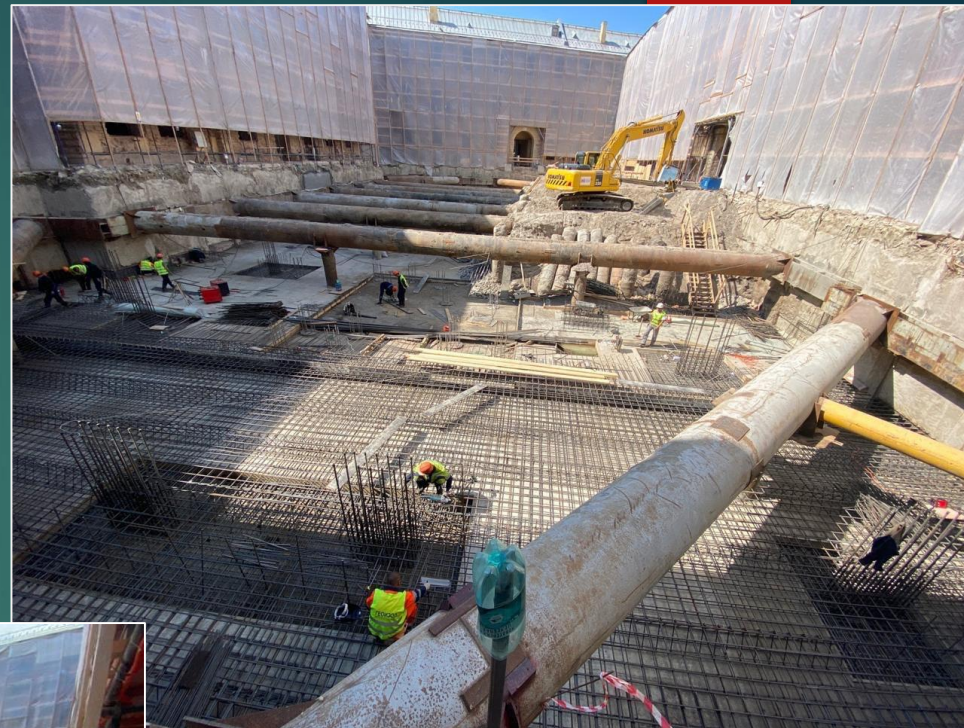
Minimum value = -0,01390 m (Element 2633 at Node 31268)



Перед устройством ограждающей конструкции выполнены мероприятия по усилению существующих фундаментов для исключения возможных осадок:

- цементация тела существующих фундаментов;
- усиление грунта основания существующих фундаментов с помощью многофункциональной геотехнической системы GEOIZOL-MP.

Производство работ в 1-ом дворе (паркинг)





Предусмотренные проектом мероприятия позволили не допустить возникновения сверхнормативных осадок здания.

Заключение

- ▶ Существующие разработанные геотехнологии, такие как устройство буронабивных и буроинъекционных свай, «стена в грунте», струйная технология для устройства грунто-цементных диафрагм и др. позволяют произвести усиление фундаментов зданий и сооружений – памятников архитектуры, без нарушения их надземных конструкций.
- ▶ Проведению строительно-реставрационных работ должно предшествовать расчетное геотехническое обоснование проекта, учитывающее развитие дополнительных осадок как реставрируемого объекта, так и соседних сооружений.
- ▶ При производстве восстановительных и новых работ на объектах – памятниках архитектуры должно проводиться научно-техническое сопровождение строительства на основе комплексного мониторинга

Спасибо за внимание !