

# ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ - ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Шашкин Алексей Георгиевич,  
ПИ «Геореконструкция»

GEORECONSTRUCTION

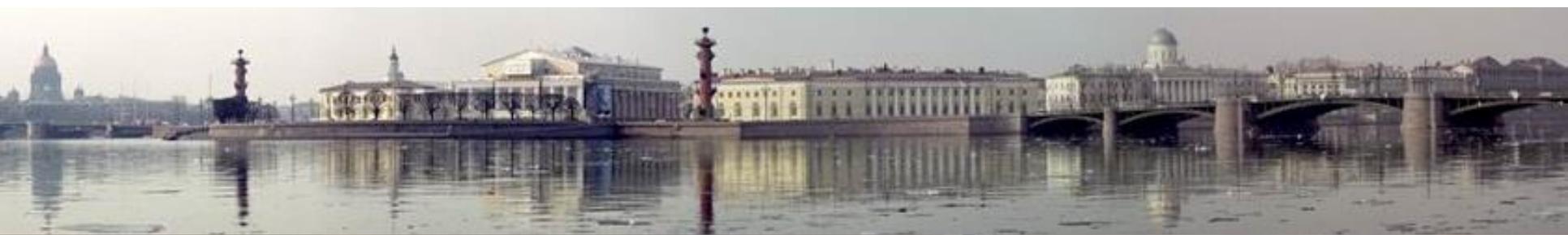


ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ОБСЛЕДОВАНИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

ГЕОТЕХНИКА



Единственно возможным вектором современного развития исторического города является направление *вниз*, позволяющее создать новую инфраструктуру, не искажающую исторический облик.

# Подземное строительство характеризуется увеличением количества факторов риска (авария Инфинити Тауэр, Дубай, 2007)



# РЕЗКИЙ РОСТ ЧИСЛА ФАКТОРОВ РИСКА :

Рост числа факторов риска, характерный для подземного строительства, должен компенсироваться снижением риска на каждом факторе

## Определение риска

$$R = \text{Prob}(F) \times \text{Prob}(C),$$

где Prob(F) – вероятность наступления некоторого неблагоприятного (опасного) события - **диктуется природой**

Prob(C) – вероятность наступления негативных последствий, обусловленных этим событием - **специалист может свести к минимуму возможные негативные последствия**



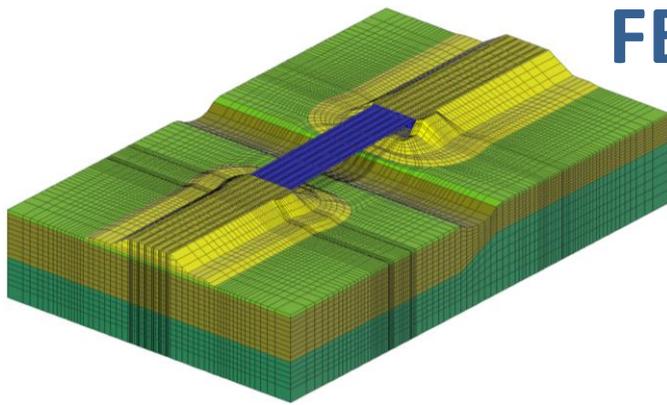
# 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

Расчетные модели, схемы должны отражать *действительные* условия работы здания или сооружения, отвечающие рассматриваемой строительной ситуации.

Необходимо учитывать взаимодействие сооружения и основания

Необходимо учитывать нелинейные и реологические параметры материалов и грунтов

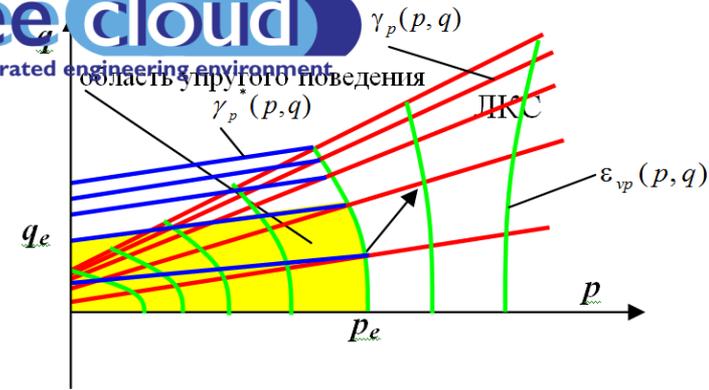
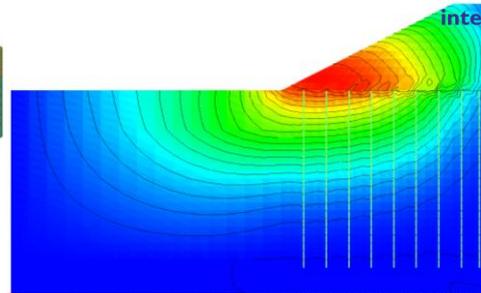
Необходимо учитывать опасные природно-техногенные процессы и явления в основании



FEM models

iee cloud

integrated engineering environment



# Портрет строительной отрасли России

Строительная  
наука

Строительная  
отрасль





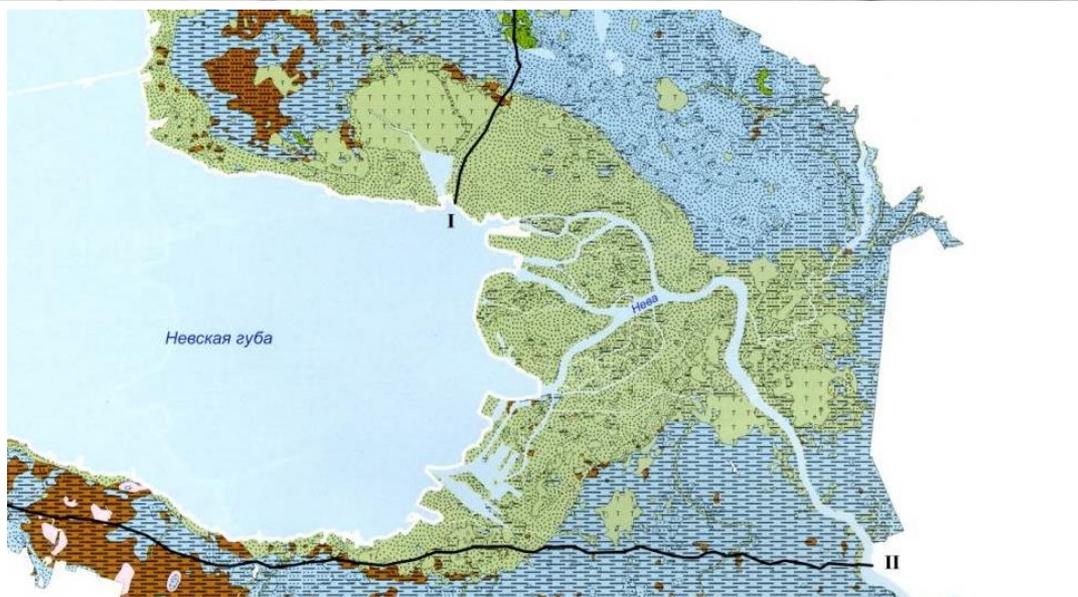
# ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

1. Особенности поведения слабых глинистых грунтов
2. Принцип проектирования подземных сооружений в условиях плотной застройки на слабых грунтах
3. Особенности конструирования ограждения глубокого котлована
4. Особенности применения технологий устройства ограждения котлована
5. Примеры освоения подземного пространства под памятниками архитектуры
6. Устройство котлована с помощью «жесткого контура»

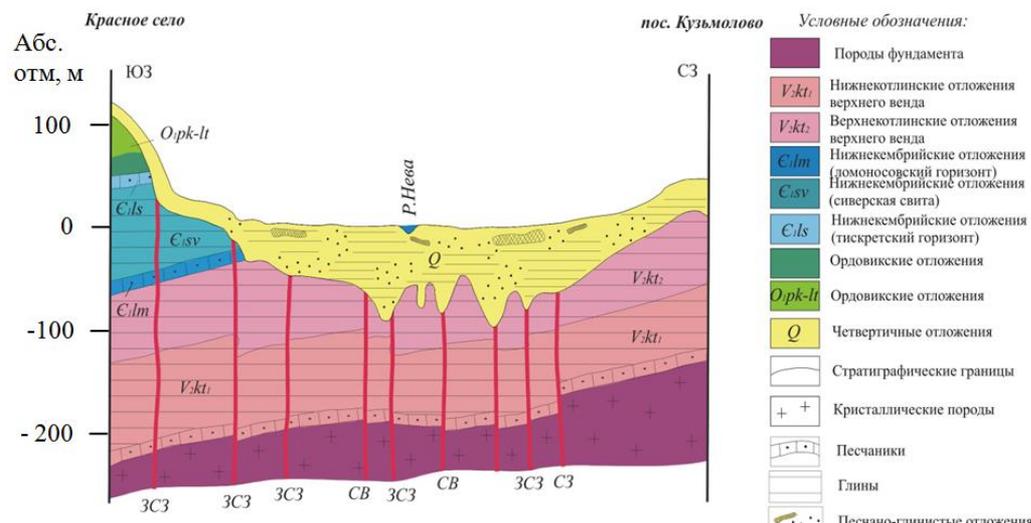


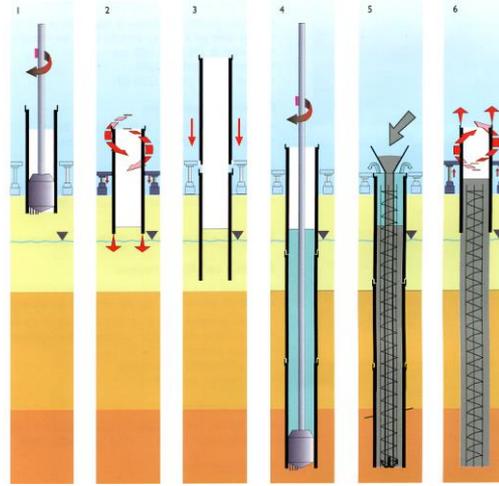
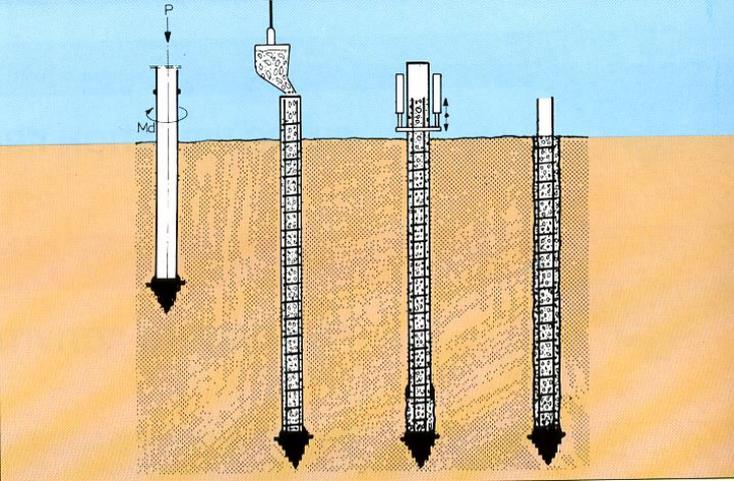
# ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

- 1. Особенности поведения слабых глинистых грунтов**
2. Принцип проектирования подземных сооружений в условиях плотной застройки на слабых грунтах
3. Особенности конструирования ограждения глубокого котлована
4. Особенности применения технологий устройства ограждения котлована
5. Примеры освоения подземного пространства под памятниками архитектуры
6. Устройство котлована с помощью «жесткого контура»



Слабые глинистые грунты способны изменять свое поведение при нарушении природного сложения. Нарушение природной структуры грунта отражается не столько на их нелинейных механических характеристиках, сколько на реологическом поведении. Все происходящее на строительной площадке, следует оценивать в аспекте нарушения структурных связей в глинистом грунте.





Нарушение структурных связей может происходить при динамических воздействиях, при вытеснении грунта из объема скважины при устройстве свай, при избыточном извлечении грунта из объема выработки при изготовлении буровой сваи, стены в грунте и пр.

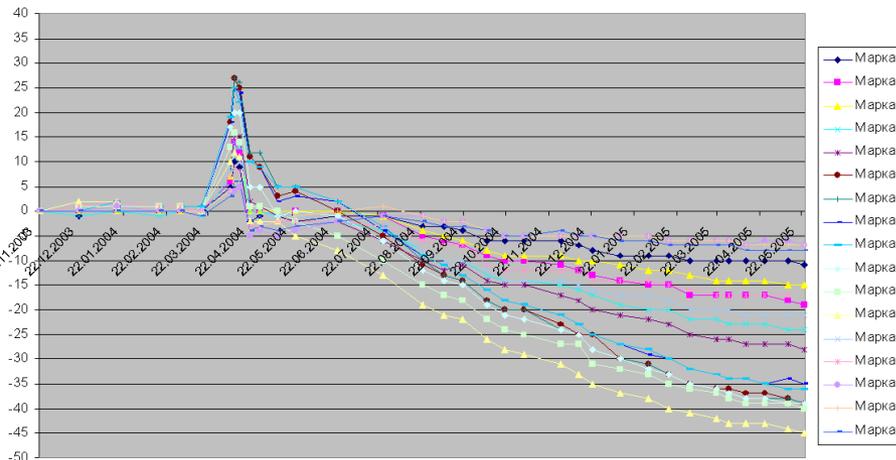
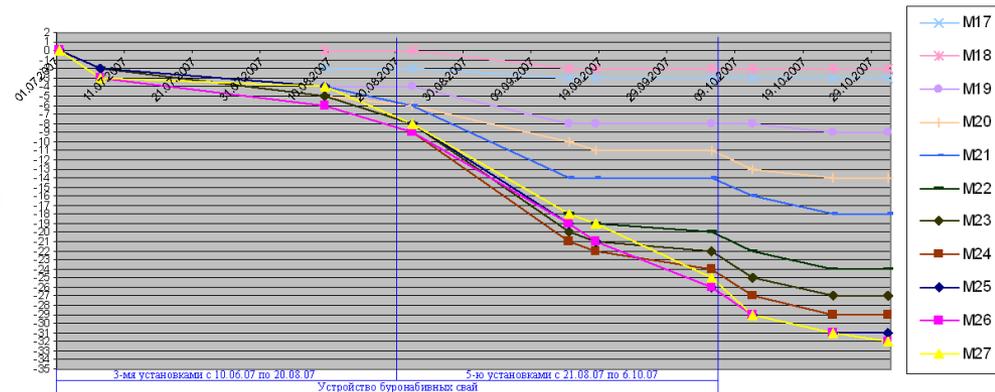
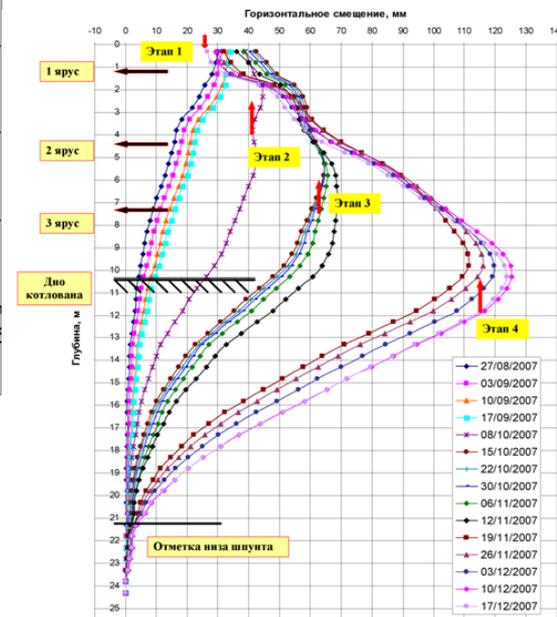


График вертикальных перемещений осадочных марок, расположенных на д. №3 на лицевом фасаде по Минскому пер. (по данным ЗАО "НПО Георекострукция-Фундаментпроект")



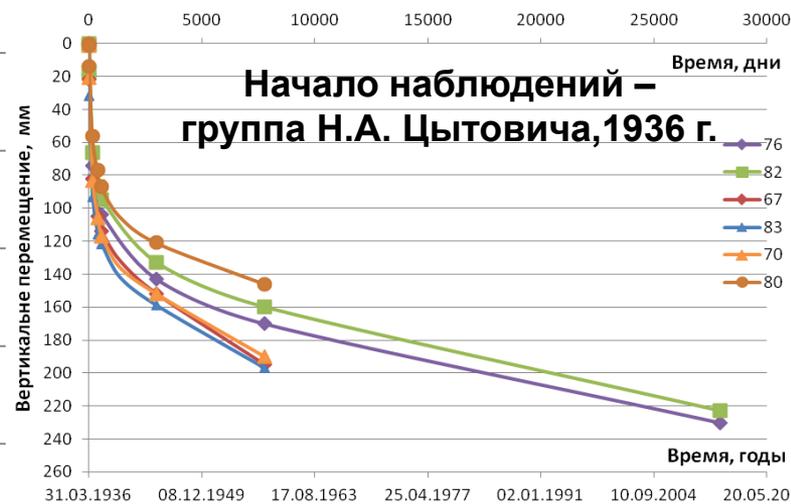
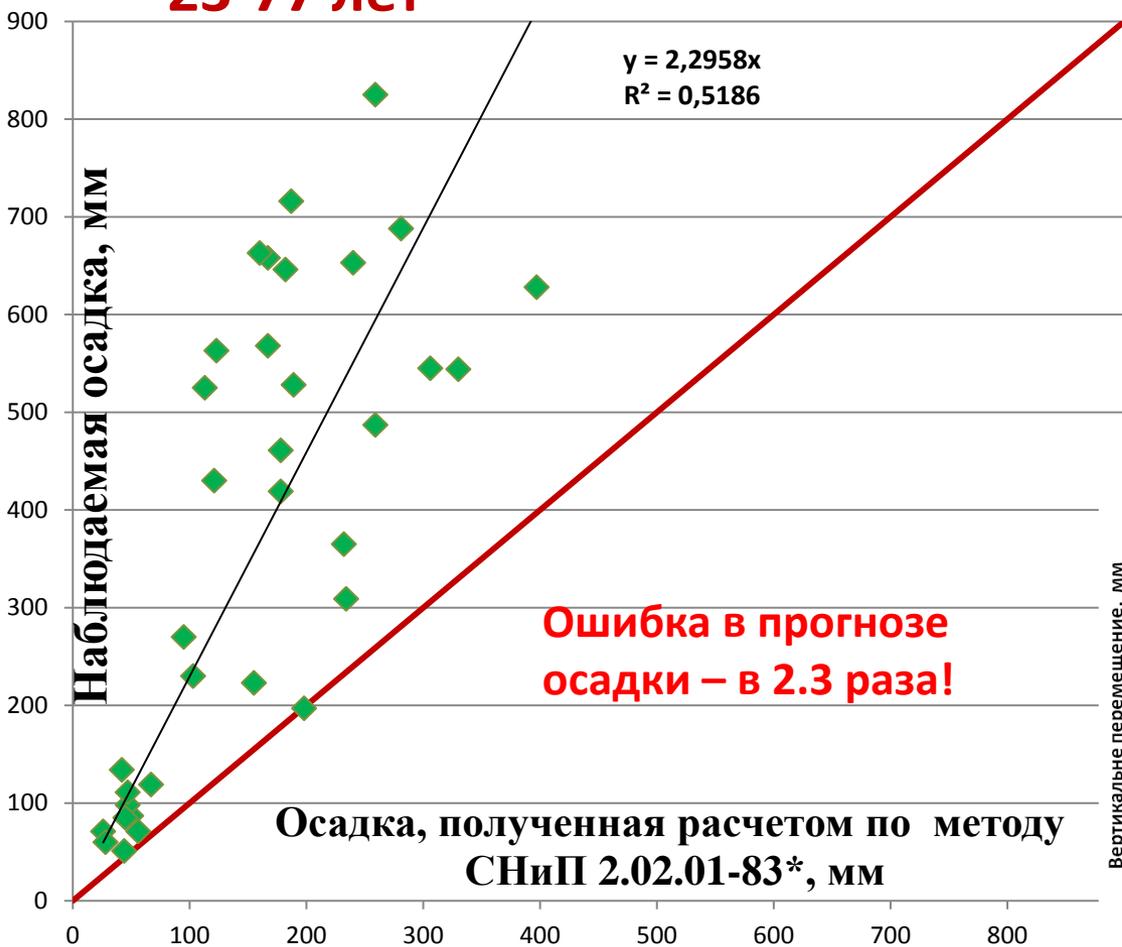
Суммарный график изменения усилий в балках всех ярусов

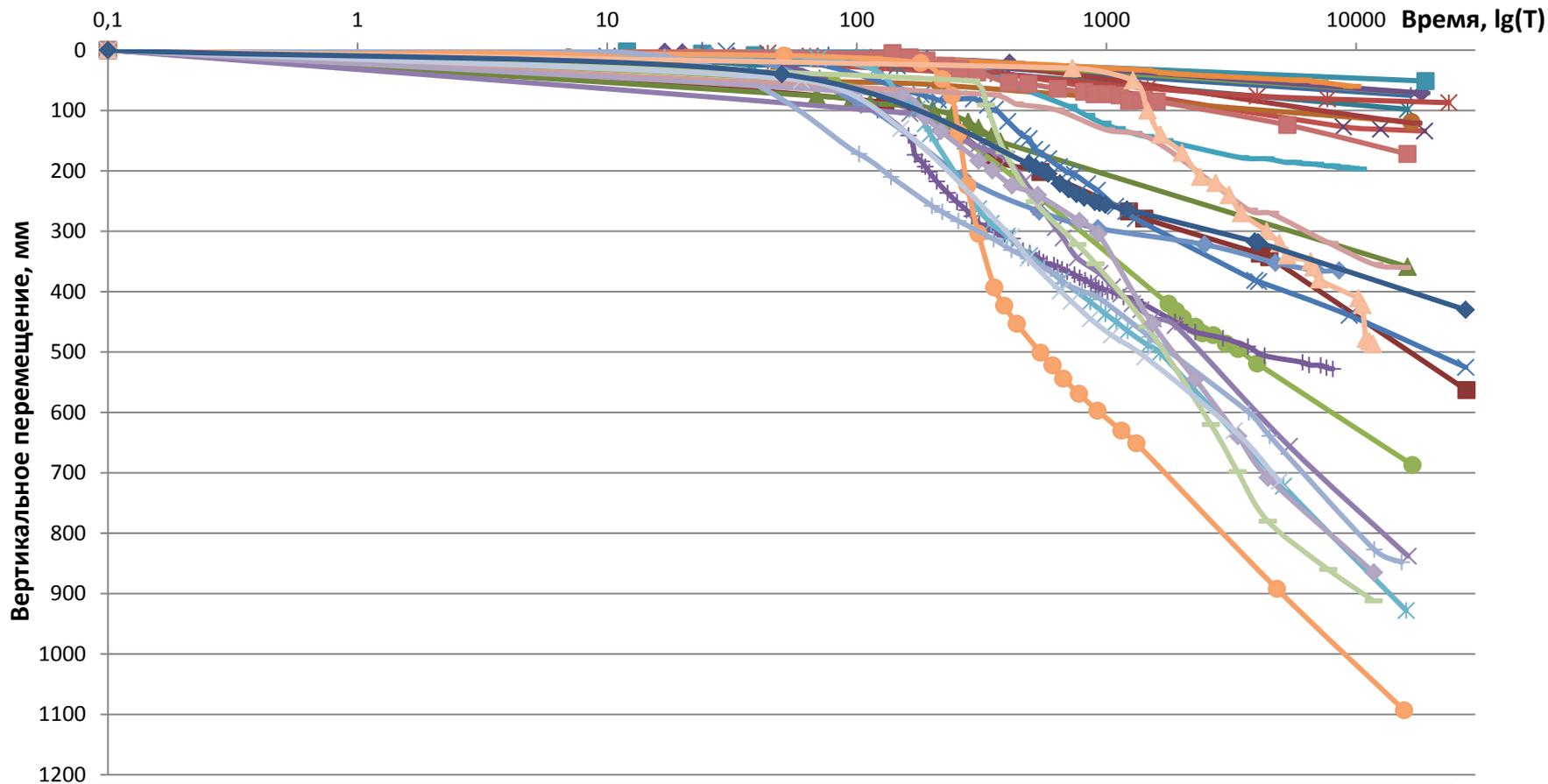


Нарушение структурных связей выражается в увеличении скорости развития деформаций сдвига. В грунте природного сложения боковое давление грунта равно примерно половине от вертикального, а при нарушении структурных связей оно возрастает до значения вертикального давления.

# Исследования к.т.н. В.А.Васенина

**30 зданий –  
длительность  
наблюдений  
23-77 лет**





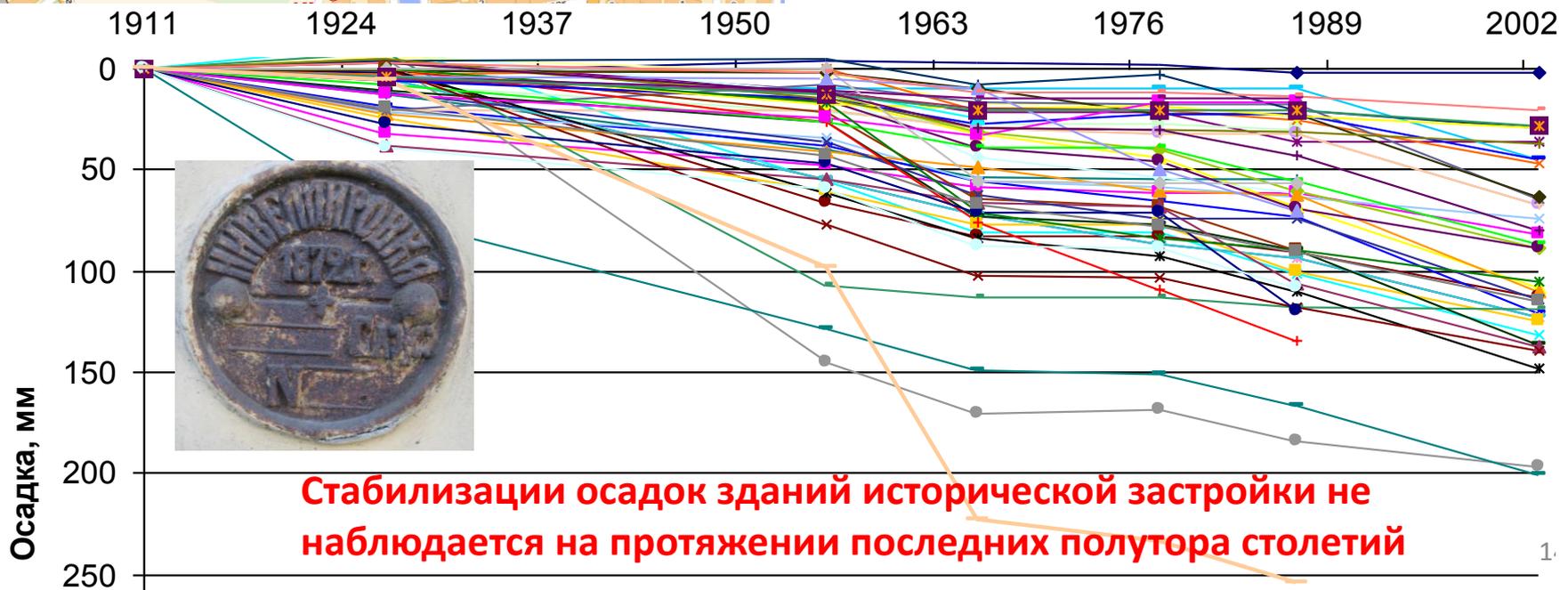
**Кривые осадок во времени имеют логарифмический характер, т.е. осадки медленно затухают, но не имеют явно выраженной асимптоты.  
Конечной осадки не наблюдается!**

# Эпюры скоростей развития осадок зданий (мм/год)



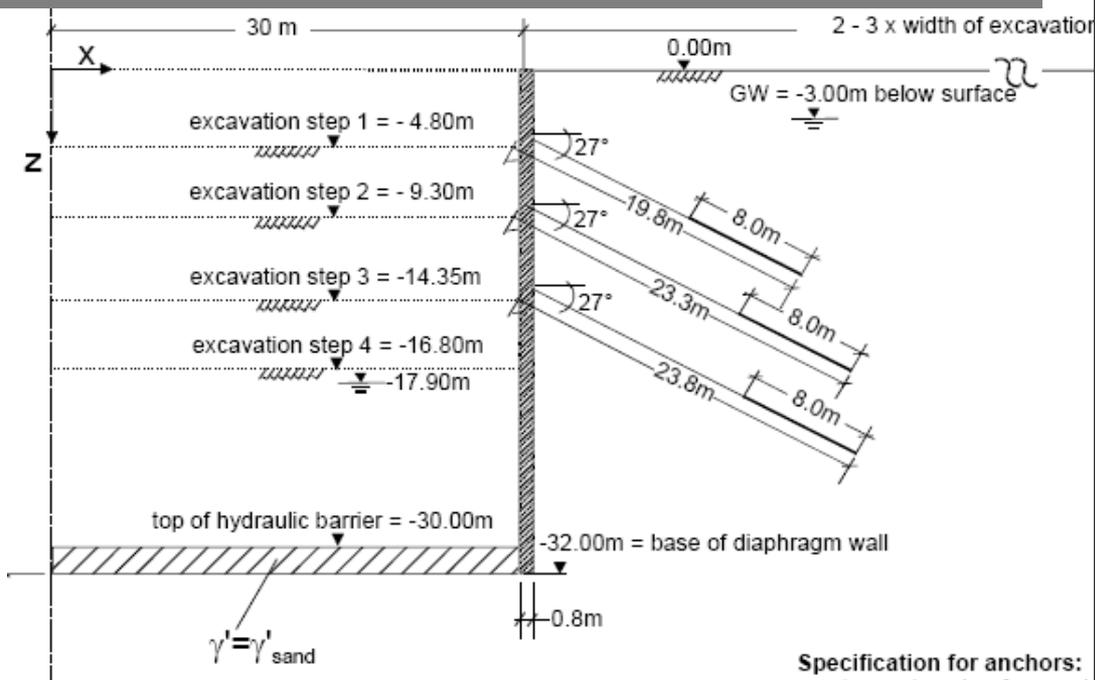
## Исследования В.А.Васенина: анализ осадок 5000 реперов:

1. Средние скорости длительных осадок зданий **0.5 мм/год**;
2. Наибольшая интенсивность осадок - **в зонах подработок** при устройстве подземных сооружений, а также **вдоль всех набережных**. Скорости осадок зданий, расположенных **вдоль набережных 2,0 мм/год**.



# Расчет глубоких котлованов

## Тестовая задача – котлован в Берлине



$$E_s \approx 20\,000 \sqrt{z} \text{ kPa}$$

$$E_s \approx 60\,000 \sqrt{z} \text{ kPa}$$

$$\varphi = 35^\circ$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$K_0 = 1 - \sin \varphi$$

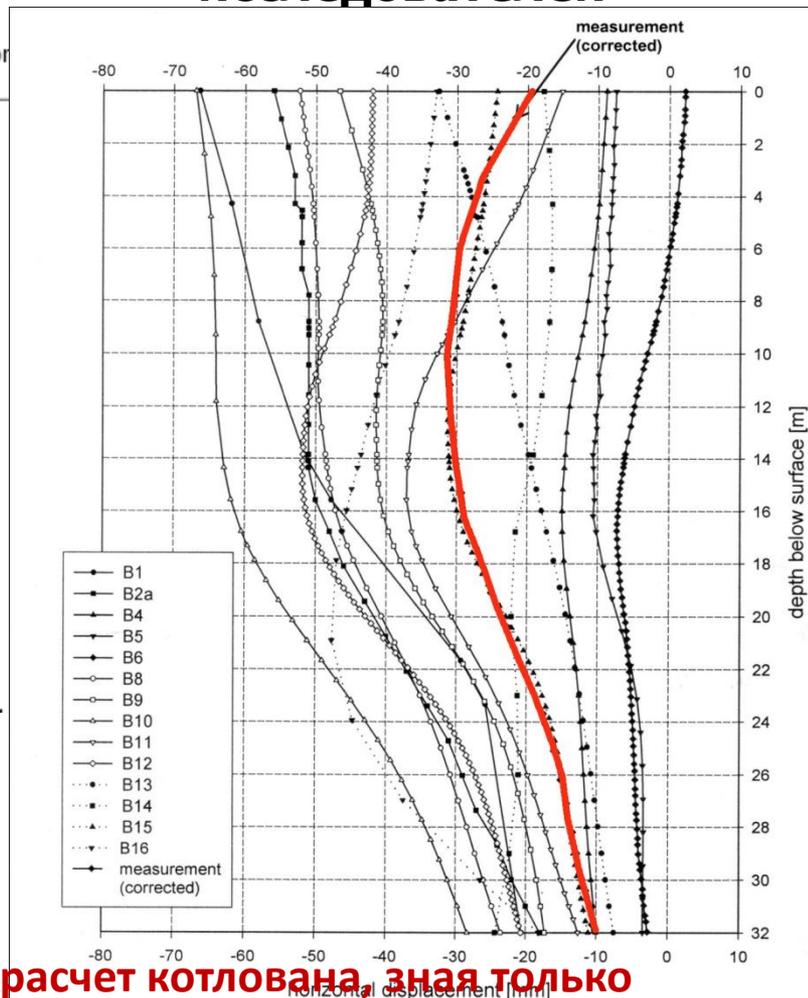
for  $0 < z < 20 \text{ m}$

for  $z > 20 \text{ m}$

(medium dense)

Specification for anchors:

## Результаты расчетов 17 групп исследователей



**Невозможно выполнить расчет котлована, зная только параметр уплотнения; котлованы бессмысленно рассчитывать без учета фактора времени**

# Стандартно определяемые параметры деформируемости грунтов

Формула Шлейхера для осадки жесткого штампа

$$s = \frac{pr}{E} (1 - \mu^2)$$

???

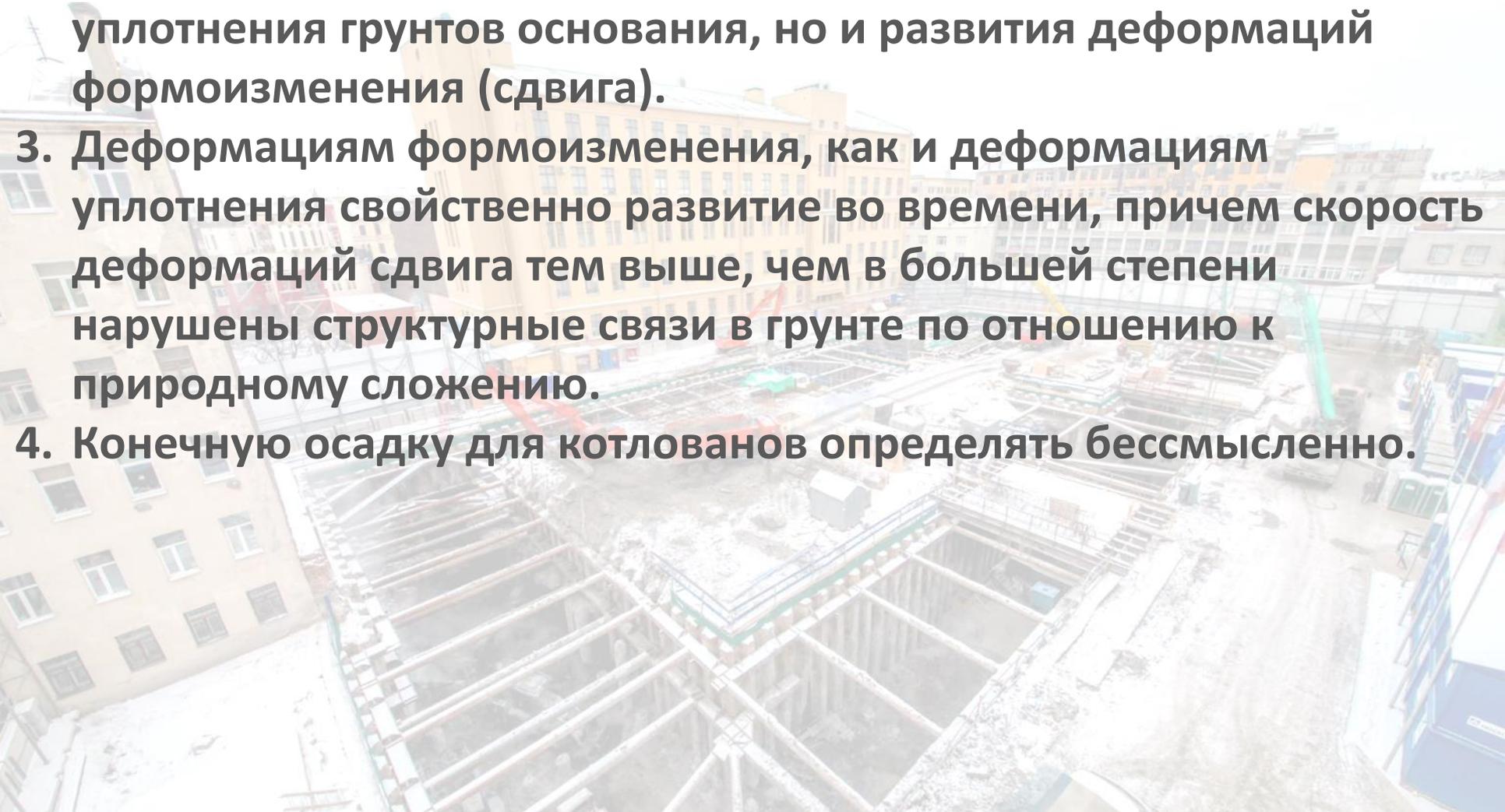
**ИЗ ИСПЫТАНИЙ**

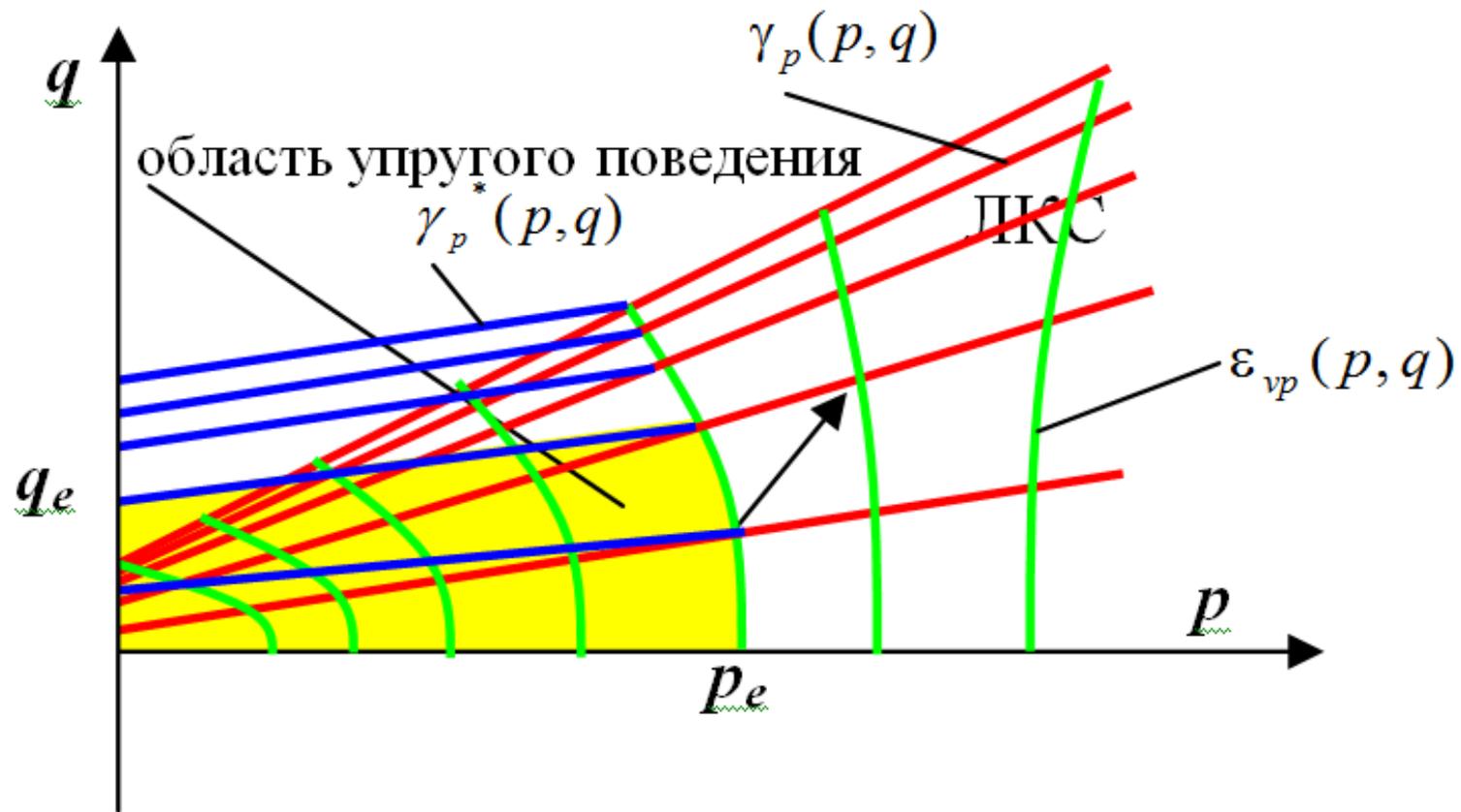
Стратиграфический индекс	ИГЭ	Номенклатура грунта	Природная влажность $W_e$	Показатель текучести $I_L$	Коэффициент пористости $e$	Плотность $\rho / \text{см}^3$			Угол внутреннего трения $\varphi$			Удельное сцепление $c$ , МПа			Модуль общей деформации $E$ , МПа
						норм.	I	II	норм.	I	II	норм.	I	II	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
tg IV	1	Насыпной грунт.				Расчетное сопротивление $R_0 = 0.1$ МПа									
m.I IV	2a	Супеси пылеватые, с примесью органических веществ, текучие	0,28	2											7,7
	2	Пески пылеватые, с примесью органических веществ, насыщенные водой, средней плотности	0,29												14,5
	3	Пески средней крупности, насыщенные водой, средней плотности	-												30,0
	4	Суглинки легкие пылеватые, текучие	0,30	1											7,3
lg III b	5	Суглинки тяжелые пылеватые, ленточные, текучие	0,40	1,38	1,110	1,82	1,80	1,81	8	6	7	0,014	0,009	0,011	5,2
	6	Суглинки легкие пылеватые, неясносплошные, текучепластичные	0,29	0,82	0,827	1,93	1,89	1,90	18	16	17	0,016	0,011	0,013	11,3

**Модуль деформации  
приведен.  
Где коэффициент Пуассона?**

# При проектировании подземных сооружений в условиях водонасыщенных глинистых грунтов необходимо учитывать:

1. Понятия «конечная осадка» для таких грунтов не существует.
2. Осадки зданий и сооружений происходят не только за счет уплотнения грунтов основания, но и развития деформаций формоизменения (сдвига).
3. Деформациям формоизменения, как и деформациям уплотнения свойственно развитие во времени, причем скорость деформаций сдвига тем выше, чем в большей степени нарушены структурные связи в грунте по отношению к природному сложению.
4. Конечную осадку для котлованов определять бессмысленно.

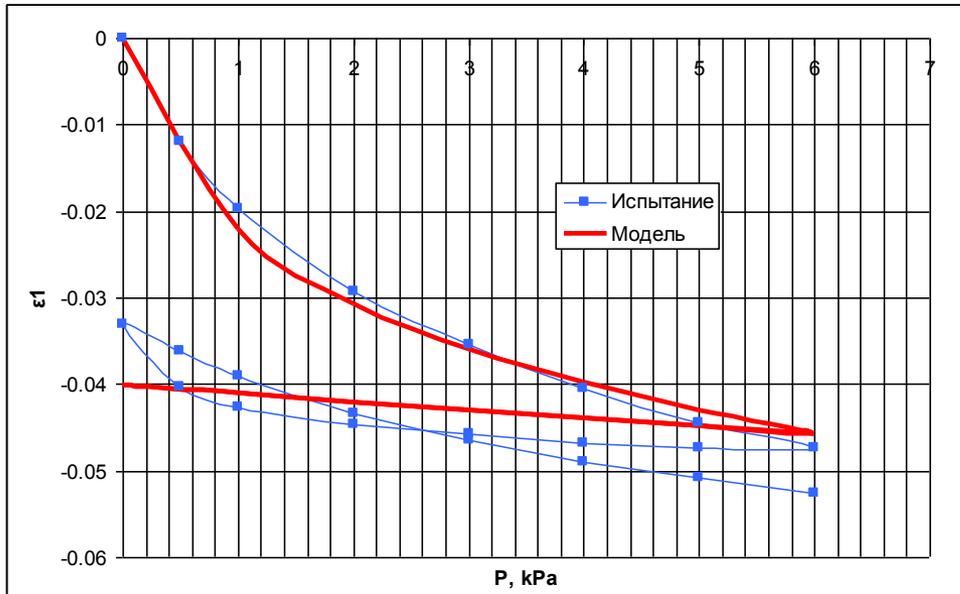




# Вязкопластическая модель грунта

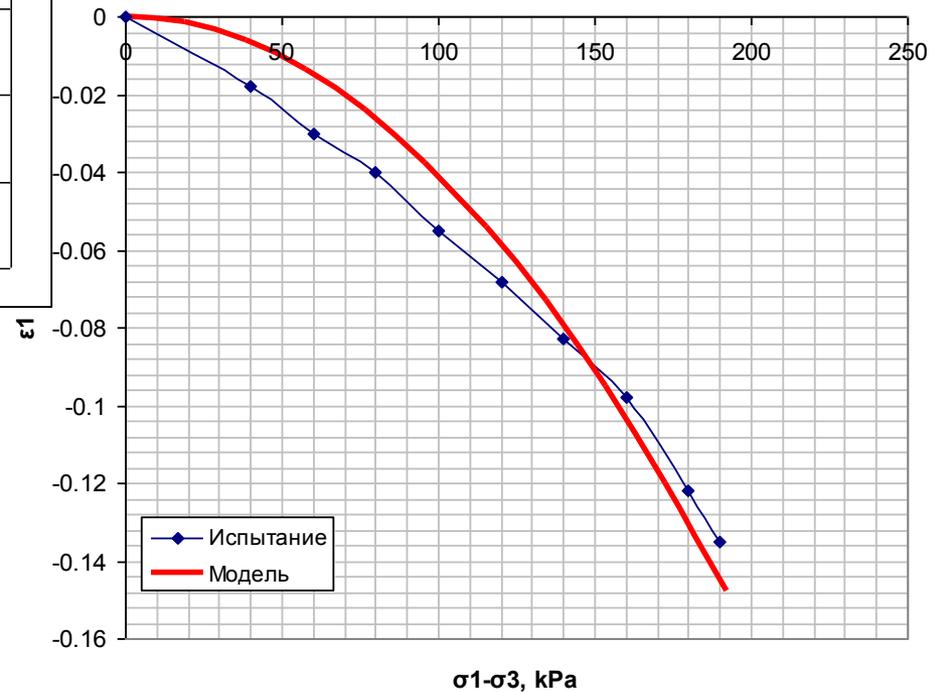
Основная идея – независимое описание нелинейных зависимостей для объемных и сдвиговых деформаций

# Моделирование лабораторных испытаний



**Компрессионные  
испытания**

## Трехосные испытания



# GEORECONSTRUCTION

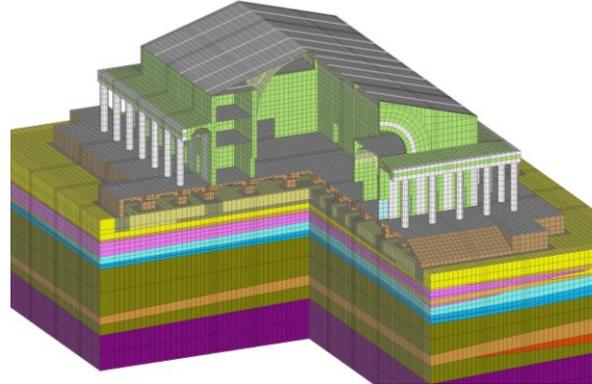


ПРОЕКТИРОВАНИЕ

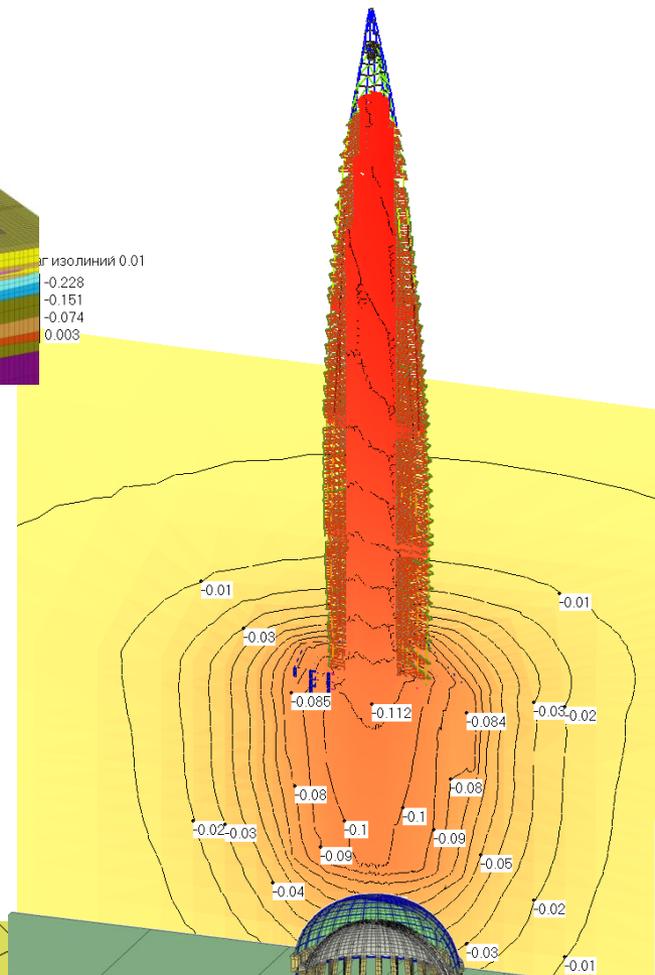
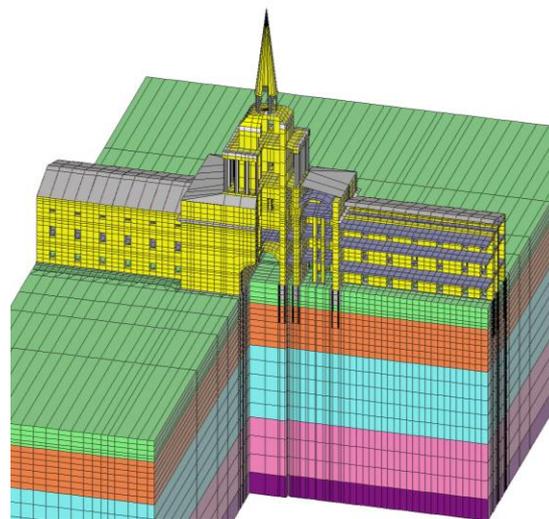
ОБСЛЕДОВАНИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

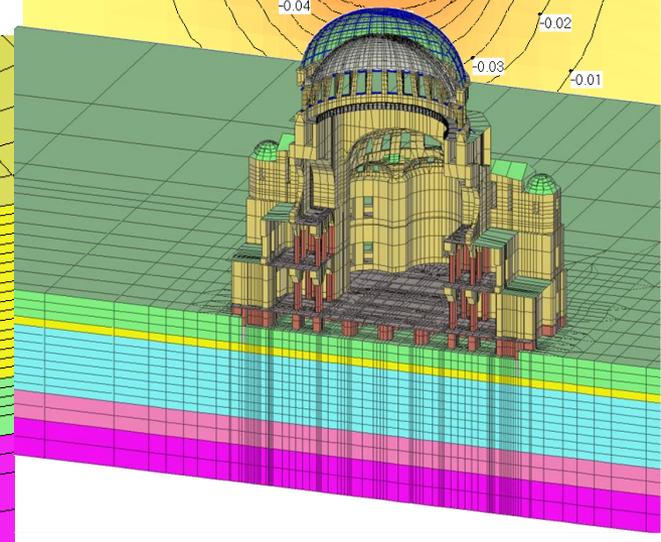
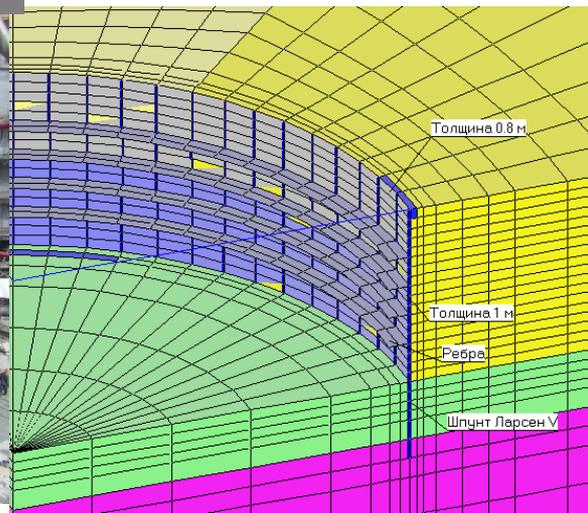
ГЕОТЕХНИКА



г изолиний 0.01  
-0.228  
-0.151  
-0.074  
0.003



Программный комплекс для  
совместных расчетов  
оснований и сооружений  
FEM models (2002)  
IEE Clouds (2018)



# iee cloud

## integrated engineering environment

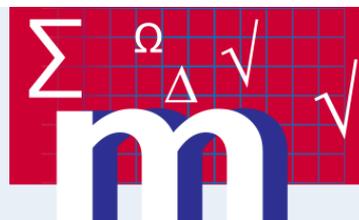
Принципиально новая программная среда с использованием новейших облачных технологий для решения инженерных и научных задач.

### 3D моделирование

Составные части:



iee finite elements



iee mathematics



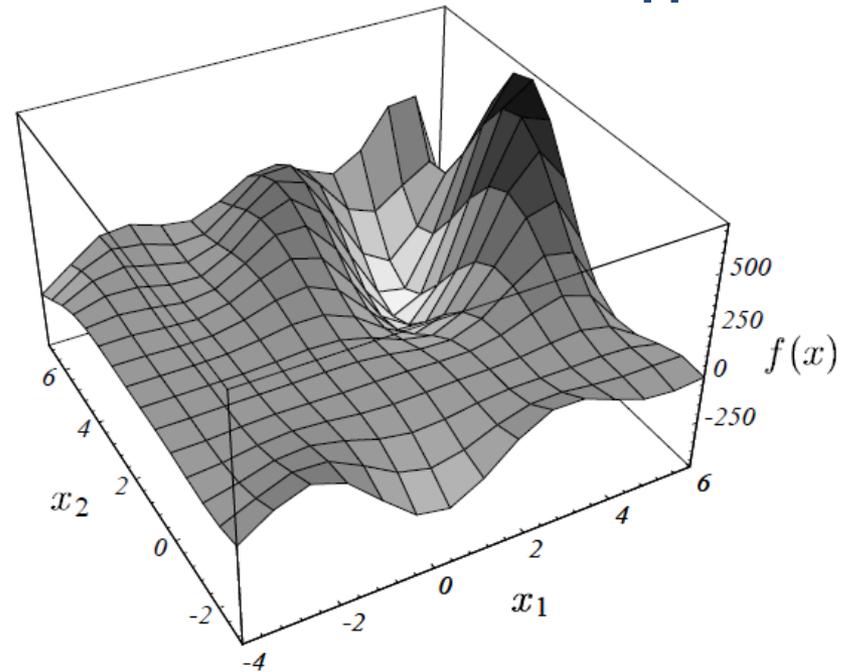
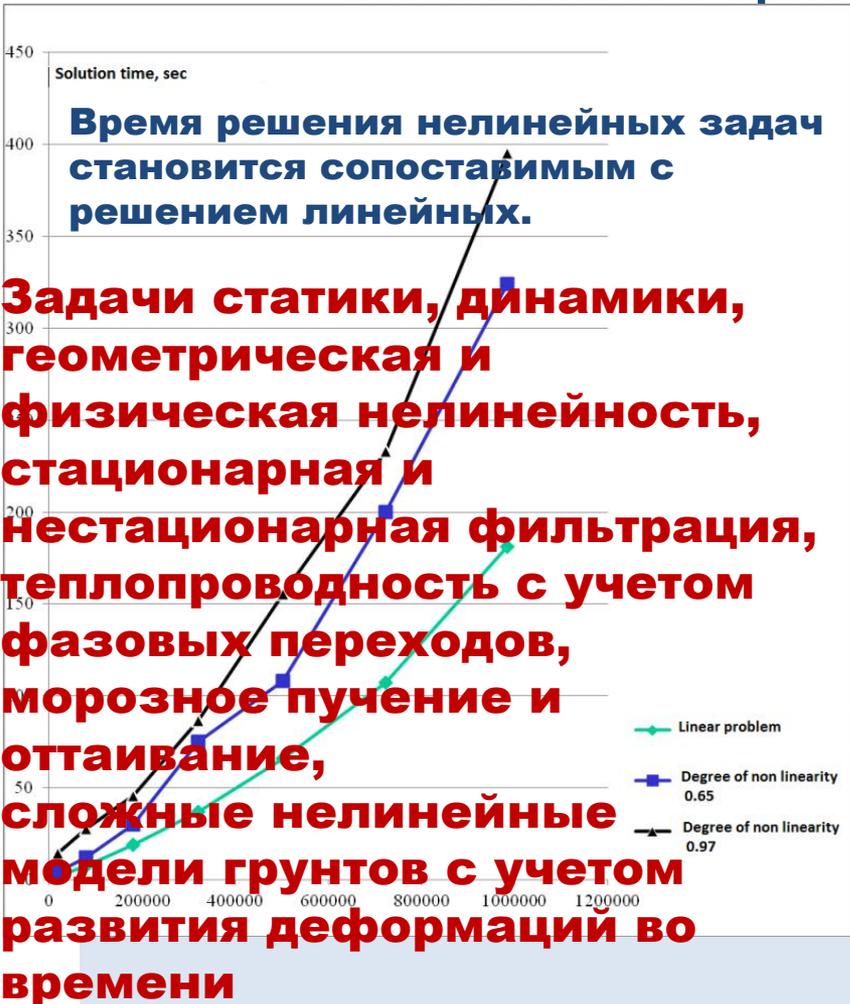
iee projects

IEE Solver (решатель задач)  
Библиотека конечных элементов и моделей материалов

Среда для инженерных расчетов по формулам,  
среда разработки моделей материалов

Хранение файлов,  
совместная работа,  
управление проектами,  
документооборот

# IEE Solver (решатель задач) – Уникальный не имеющий аналогов алгоритм непосредственного решения нелинейных задач без необходимости вложенного цикла решения линейных задач.



**Итерационные методы решения эффективно ускоряются с помощью вычислений на графических процессорах. Вычисления выполняются на специальном сервере с GPU устройством.**

$$\eta_0 \approx 100c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$

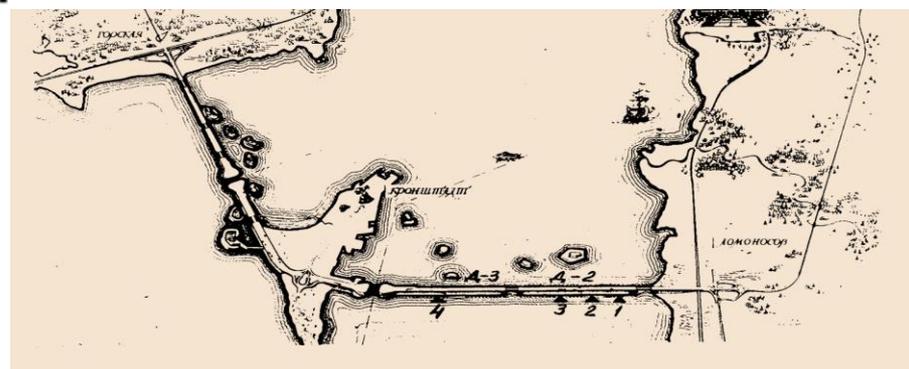
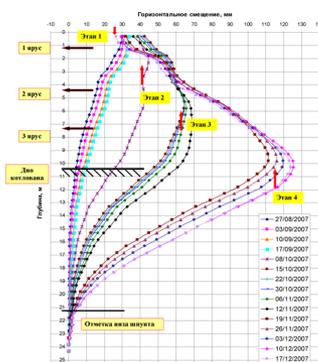
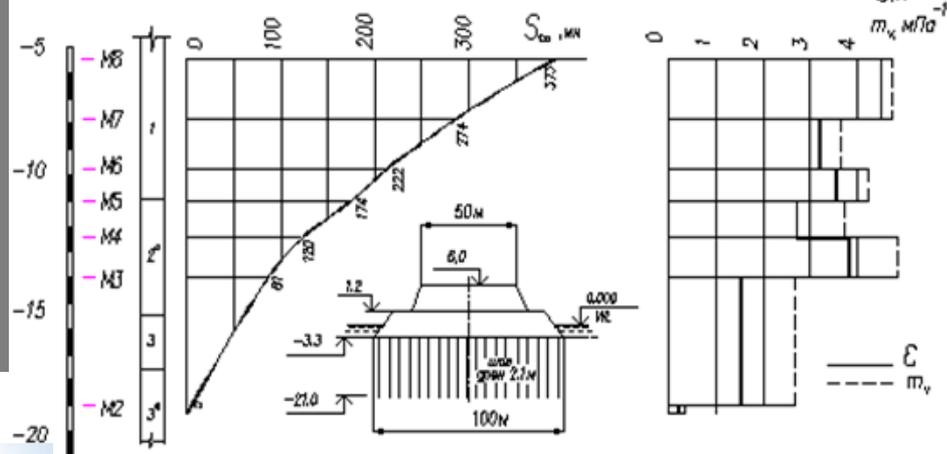


$$\eta_0 \approx 1.0c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$

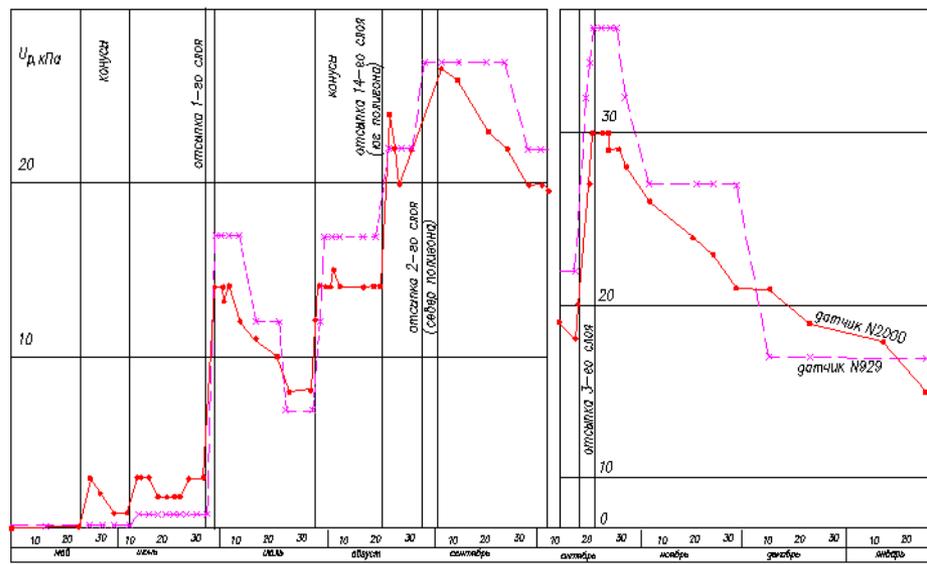


Одним из параметров вязкопластической модели является вязкость грунта. Этот параметр на «тихой» площадке может быть на два порядка большим, чем на «активной». Достаточно нарушить структуру грунта, и деформации ускорятся в 100 раз!

Единственной возможностью оценить параметры грунта, ответственные за скорость развития деформаций, являются натурные исследования.



Суммарный график изменения усилий в балках всех ярусов



A photograph of a construction site showing a concrete structure under construction. The structure is supported by wooden beams and scaffolding. The concrete is a light grey color, and the wooden beams are a natural wood color. The background shows a bright sky and some greenery.

# ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

1. Особенности поведения слабых глинистых грунтов
2. Принцип проектирования подземных сооружений в условиях плотной застройки на слабых грунтах
3. Особенности конструирования ограждения глубокого котлована
4. Особенности применения технологий устройства ограждения котлована
5. Примеры освоения подземного пространства под памятниками архитектуры
6. Устройство котлована с помощью «жесткого контура»

# Начальная вязкость для грунтов природной структуры и с частичным нарушением структурных связей

$$\eta_0 \approx 100c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$



$$\eta_0 \approx 1.0c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$



# Два возможных принципа проектирования подземных сооружений на урбанизированной территории

При сохранении природного сложения грунта

При нарушении природных структурных связей

$$\eta_0 \approx 100c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$

$$\eta_0 \approx 1.0c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$

Какую  $\eta_0$  принимать в расчет?  
Это зависит от принципа, заложенного  
в основу проекта

Принцип сохранения природного сложения грунта, учет реологических свойств грунта

Игнорирование «в запас» реологических свойств грунта

# Для реализации принципа проектирования с учетом сохранения природного сложения необходимо:

- ограничить техногенные воздействия в период устройства котлована (не допускать динамических воздействий как внутри котлована, так и вокруг него, исключить работы по устройству свай, погружению шпунта и т.п., ограничить движение транспорта вокруг котлована);
- не допускать нарушений последовательности ведения работ и щадящих технологических режимов;
- строго соблюдать проектные сроки каждого этапа работ по устройству котлована.

**Существует высокий риск невыполнения этих требований**

# Два возможных принципа проектирования подземных сооружений на урбанизированной территории

При сохранении природного сложения грунта

$$\eta_0 \approx 100c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$



Затраты на распорные и ограждающие конструкции минимальны

Но высок риск повреждения соседней застройки при нарушении природной структуры грунта



Подземное строительство опасно

При нарушении природных структурных связей

$$\eta_0 \approx 1.0c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$

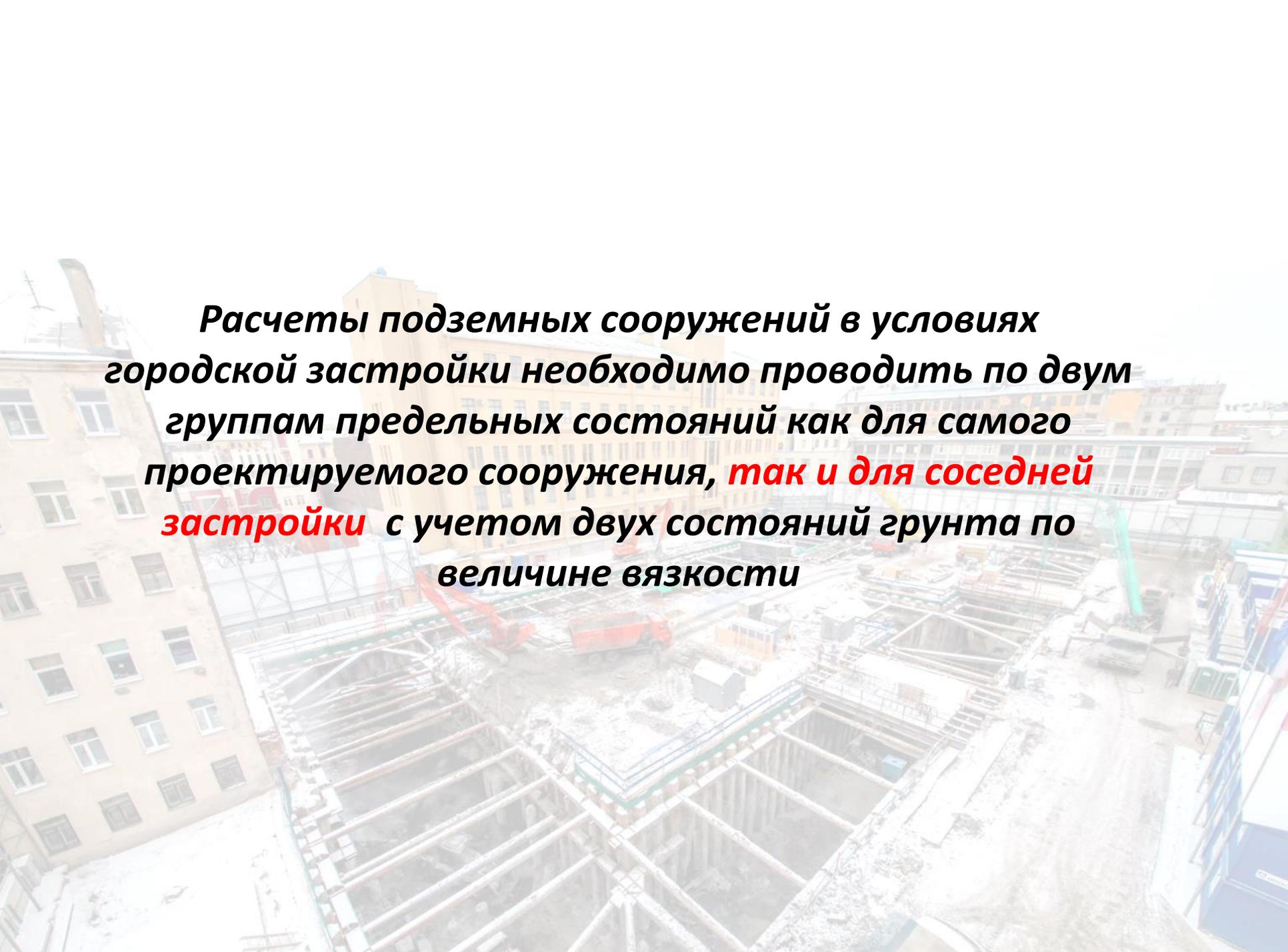


Мероприятия, обеспечивающие допустимые деформации соседней застройки, оказываются за гранью экономической целесообразности



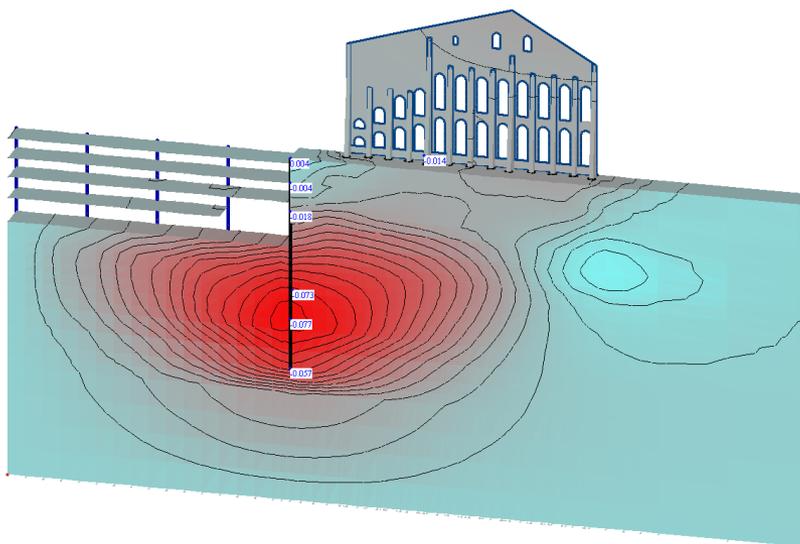
Подземное строительство нерентабельно

Что предпочесть?



**Расчеты подземных сооружений в условиях городской застройки необходимо проводить по двум группам предельных состояний как для самого проектируемого сооружения, так и для соседней застройки с учетом двух состояний грунта по величине вязкости**

## Расчет по II группе предельных состояний для соседней застройки



$$\sum_{i=0}^n S_{ad}^i \leq S_{adu} \quad (1)$$

Учитываются реологические свойства  
грунта

$$\eta_0 \approx 100c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$

Расчет по второй группе предельных состояний (по деформациям) должен выполняться, руководствуясь критерием (1). Развитие деформаций во времени характеризуется максимальным значением начальной вязкости.

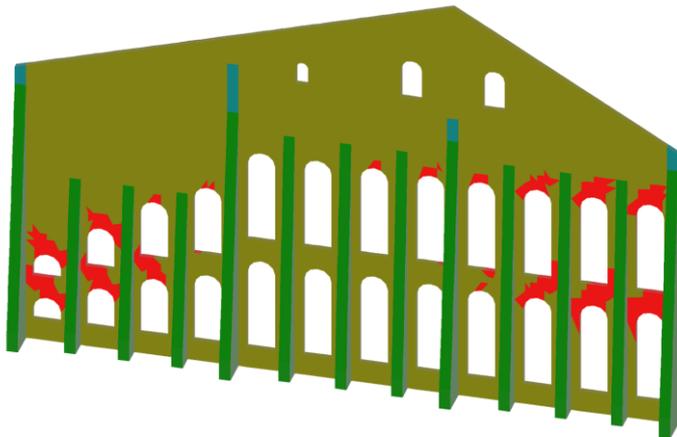
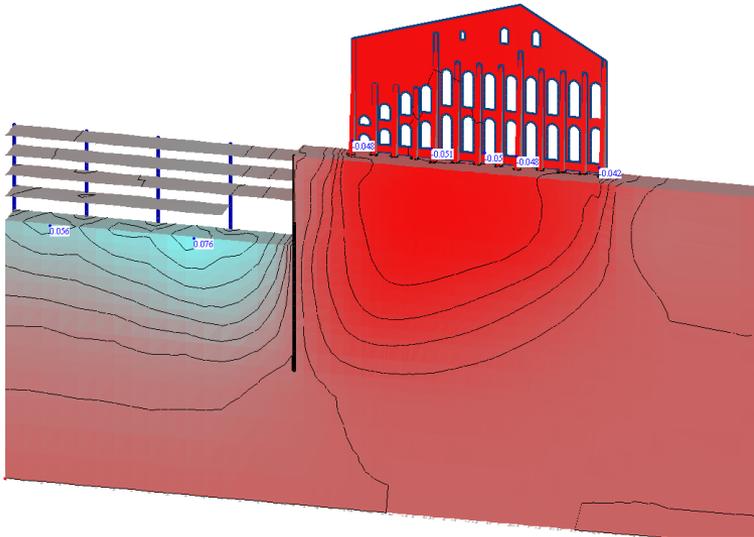
**На основании этого расчета выбирается конструкция ограждения котлована и система его крепления, обеспечивающая допустимые деформации соседней застройки.**

# Расчет по I группе предельных состояний для соседней застройки

$$\eta_0 \approx 1.0c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$

Выполняется расчет взаимодействия существующих зданий, основания и глубокого котлована при минимальной начальной вязкости, т.е. **с учетом нарушения структурных связей в грунте**. Усилия в конструкциях порождаются деформациями основания, обусловленными податливостью ограждения котлована.

**Определяются предельные осадки зданий, соответствующие предельным усилиям в их конструкциях. Параметры ограждения должны исключить угрозу обрушения соседней застройки.**



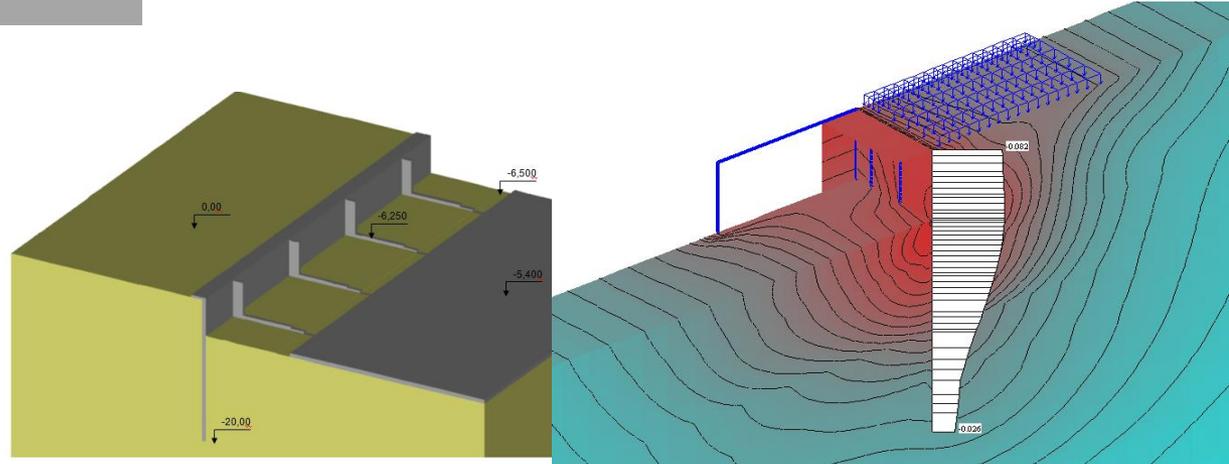
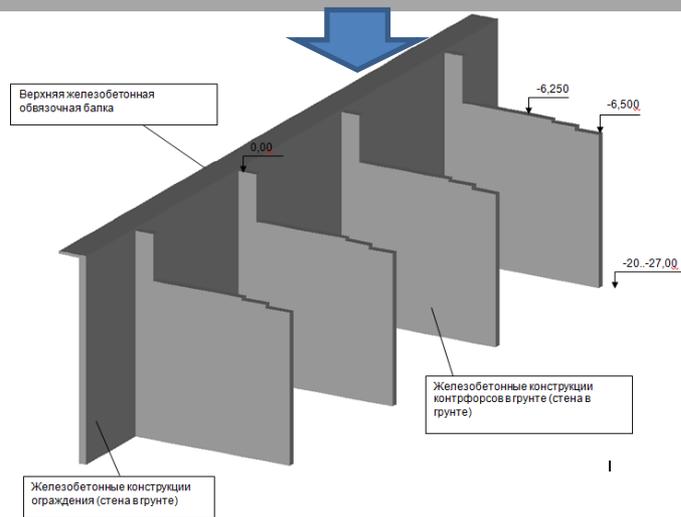


# ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

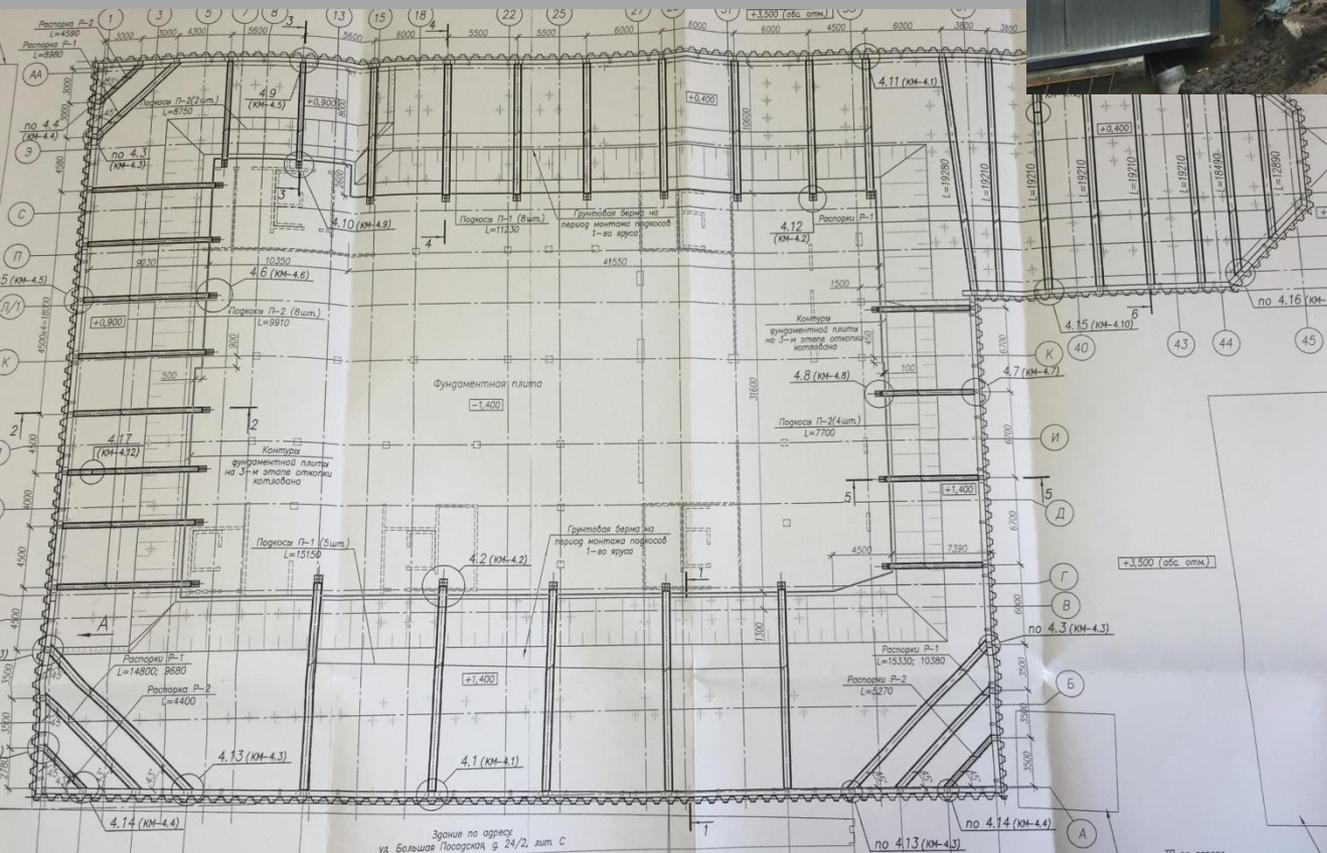
1. Особенности поведения слабых глинистых грунтов
2. Принцип проектирования подземных сооружений в условиях плотной застройки на слабых грунтах
3. Особенности конструирования ограждения глубокого котлована
4. Особенности применения технологий устройства ограждения котлована
5. Примеры освоения подземного пространства под памятниками архитектуры
6. Устройство котлована с помощью «жесткого контура»

«Консольное» ограждение эффективно при глубине котлована до 3,0...5 м.

Безраспорная ограждающая конструкция претерпевает не только изгиб, но и вращение как жесткого тела. При устройстве котлована глубиной 8 м только стена в грунте с 3-метровыми контрфорсами способна исключить развитие недопустимых дополнительных осадок окружающих строений.



Грунтовую берму удастся применить в котлованах сравнительно небольшой глубины (около 5 м). Особое внимание - устойчивости бермы. Часто происходит подработка бермы, замачивание, промерзание, что резко снижает ее полезный эффект.



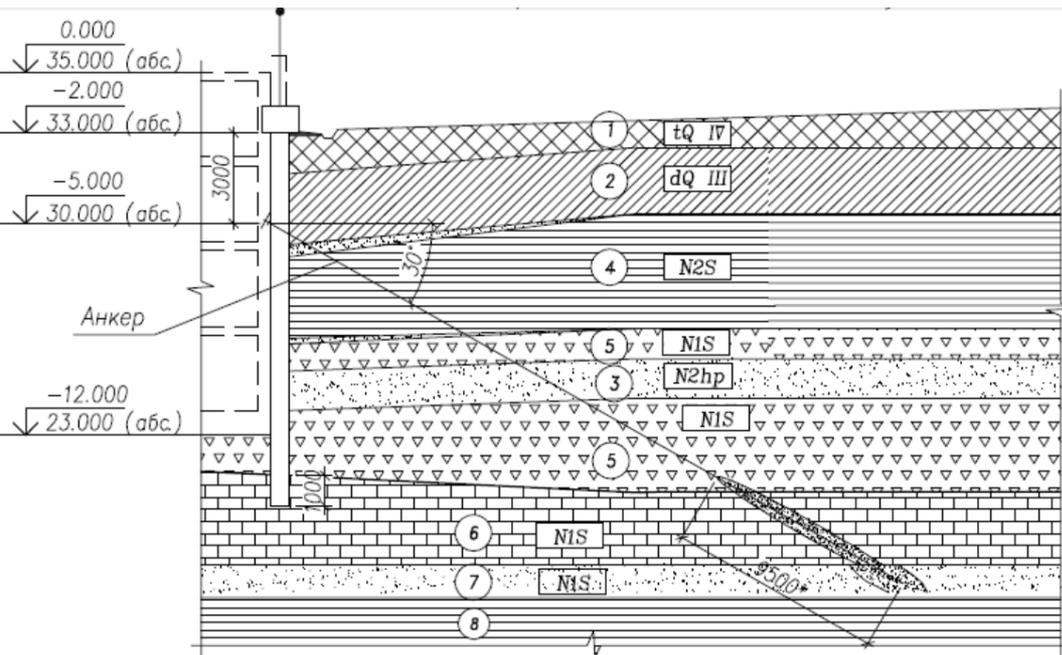


Компенсационное  
нагнетание по манжетной  
технологии способствовало  
не столько подъему здания,  
сколько сдвигу ограждения  
котлована

Анкер, который до надежного грунта не достает – пустая трата средств.  
В условиях Петербурга для этого нужна длина 40...60 м. Деформация такого анкера превышает допустимое горизонтальное смещение ограждения, определяемое из условия обеспечения безопасности соседней застройки.

Кроме того, соседи отнюдь не приветствуют проникновение чужих анкеров на их территорию. Расположение корней анкеров под существующими зданиями может негативно сказаться на деформациях последних.

## Ростов-на-Дону: близко скала



При устройстве глубоких котлованов следует использовать распорные системы. Общий принцип их работы: передать боковое давление грунта на ограждение с одной стороны котлована на другую. Противодействует боковому давлению грунта сам же грунт, а распорная система только транспортирует усилие.

Применение металлических распорок для ограничения податливости ограждения является рациональным при сравнительно небольшой ширине котлована (примерно до 20 м).

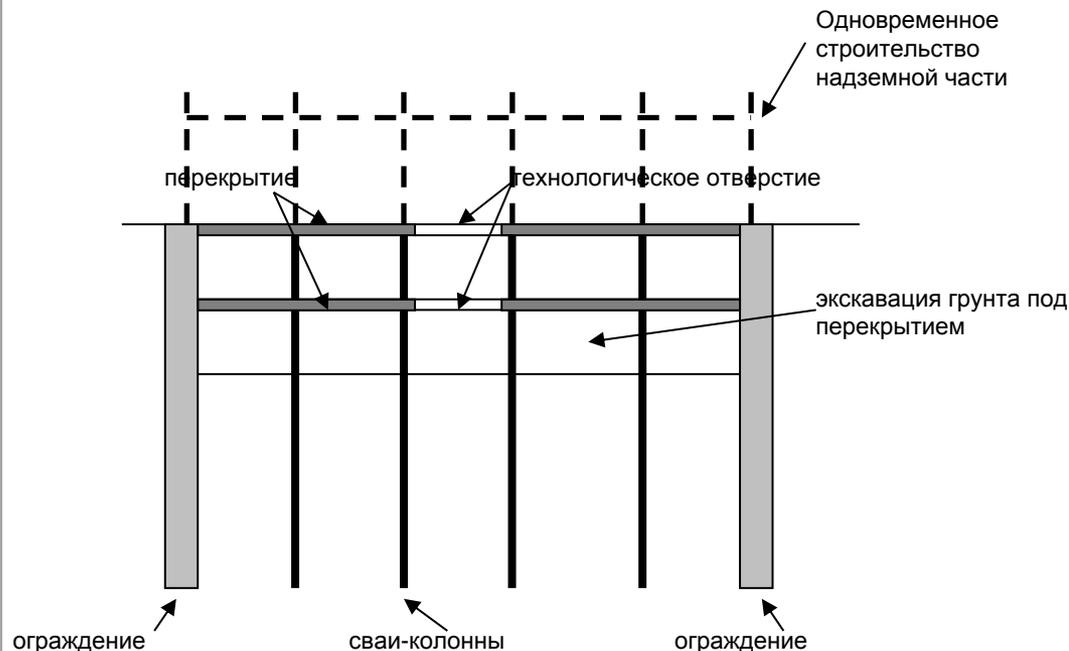


**Пример ошибочного решения ограждения котлована (не обеспечено восприятие горизонтальных усилий системой распорок), который привел к аварийному разрушению прилегающего исторического здания**

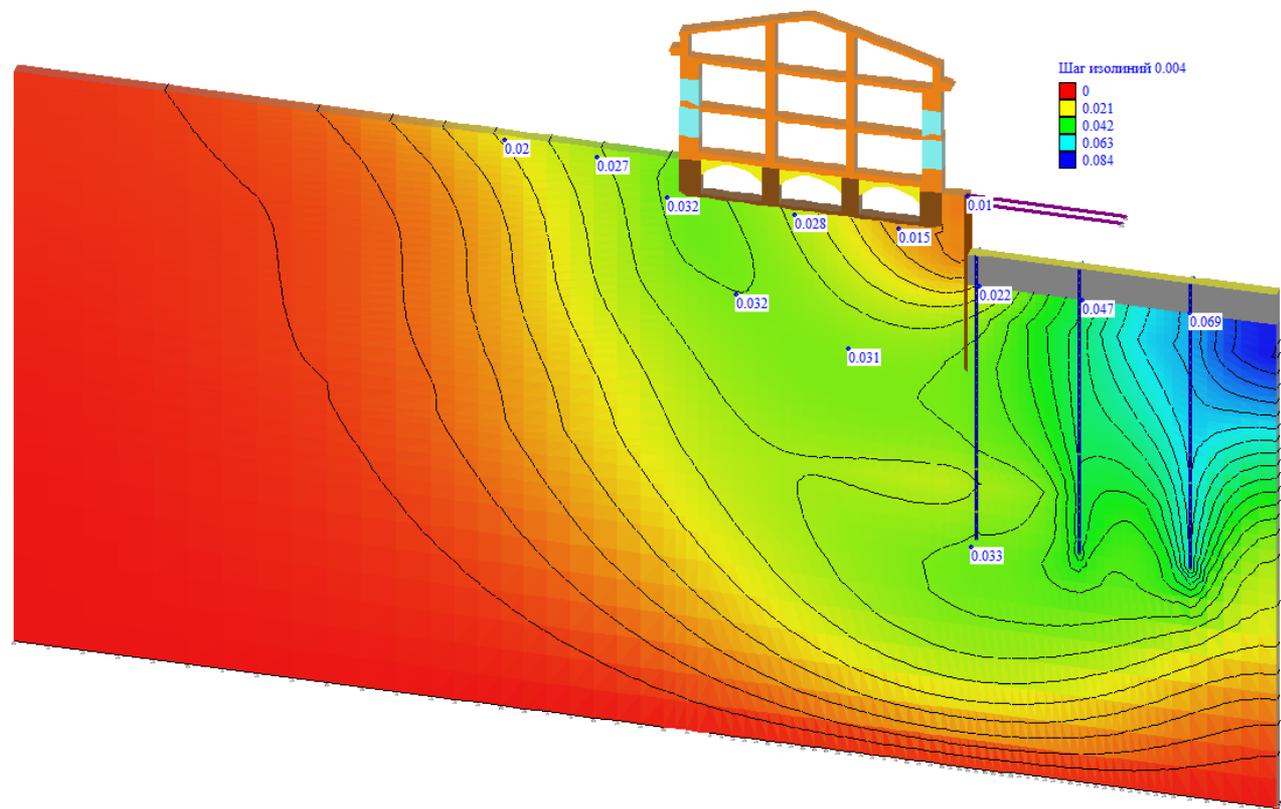
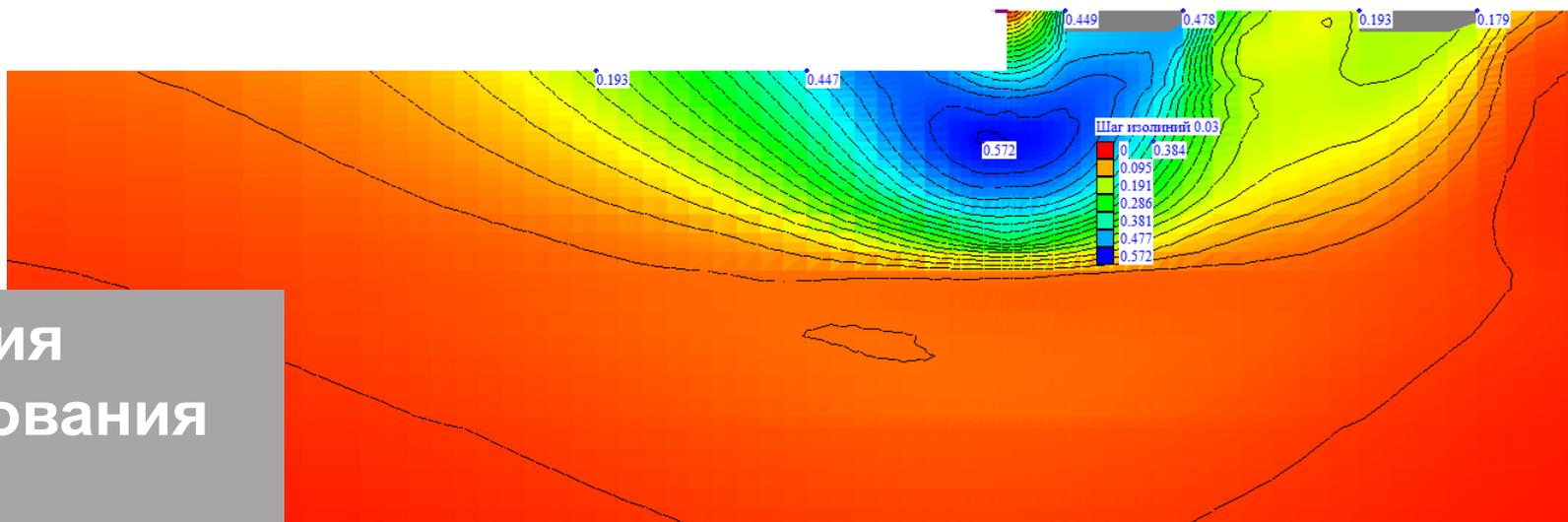


В Китае получили распространение временные монолитные железобетонные распорные конструкции, демонтируемые после устройства постоянных перекрытий.

Более экономичной является концепция строительства «сверху вниз» (top-down). В этом случае роль распорок играют диски перекрытий, изготавливаемые последовательно по мере откопки котлована.



Тенденция  
формирования  
кругло-  
цилиндрических  
поверхностей  
при устройстве  
большого в  
плане  
котлована, по  
которым  
выстраиваются  
векторы  
главных  
перемещений





**Вынос грунта напорными водами полюстровского горизонта, взломавшими водоупор, ослабленный при откопке котлована**

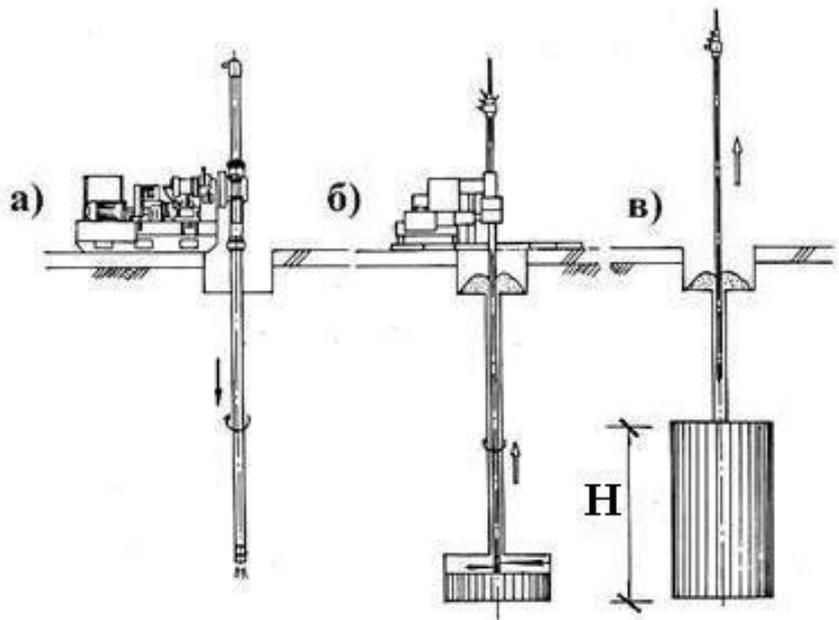


При откопке котлована с временными откосами 1:2 происходит наклон и смещение свай (до 1 м)



## Развитие подземного пространства исторического мегаполиса

1. Особенности поведения слабых глинистых грунтов
2. Принцип проектирования подземных сооружений в условиях плотной застройки на слабых грунтах
3. Особенности конструирования ограждения глубокого котлована
4. Особенности применения технологий устройства ограждения котлована
5. Примеры освоения подземного пространства под памятниками архитектуры
6. Устройство котлована с помощью «жесткого контура»



Струйная технология  
закрепления грунтов  
(Jet Grouting)

# Массив закрепленного грунта по струйной технологии:

1 – состоит из отдельных цилиндров;

2 - по деформационным параметрам на порядок ниже бетона и на два порядка выше грунта

3 - характеризуется соотношением :

$$E \approx 100 R_0 \quad (R_0 = 10 \text{ МПа}, E = 1000 \text{ МПа})$$

4 – по своей работе подобен бетону с большим количеством холодных швов бетонирования, а следовательно:

4.1 – плохо работает на изгиб и растяжение

4.2 – может работать на сжатие

# ИЗМЕНЕНИЕ ВЫШЕЛЕЖАЩЕЙ ТОЛЩИ В ПРОЦЕССЕ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ



Пропитка вышележащих  
слоев грунта при  
формировании  
грунтоцементной плиты

**Нельзя допускать, чтобы струйная технология работала в режиме гидроразрыва пласта**

**Бетон не работает на растяжение и изгиб –  
закрепленный грунт тем более!**

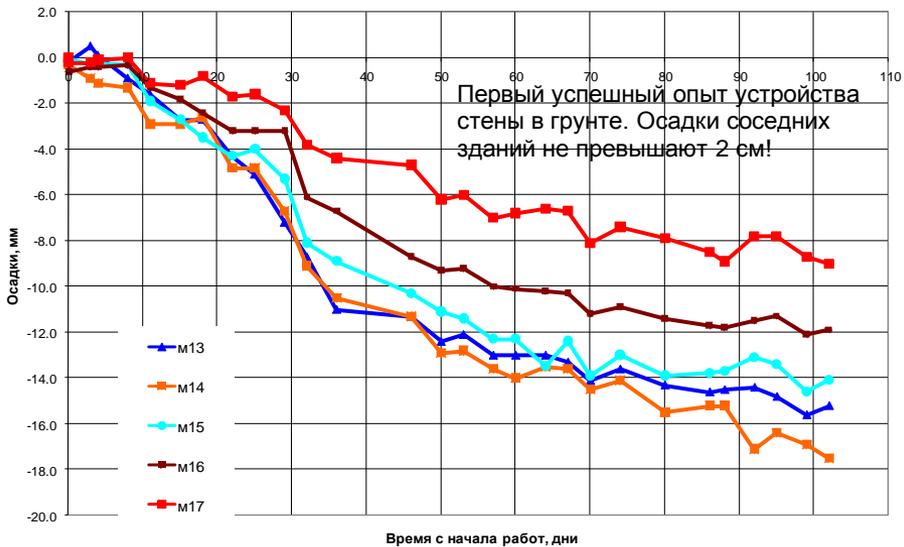
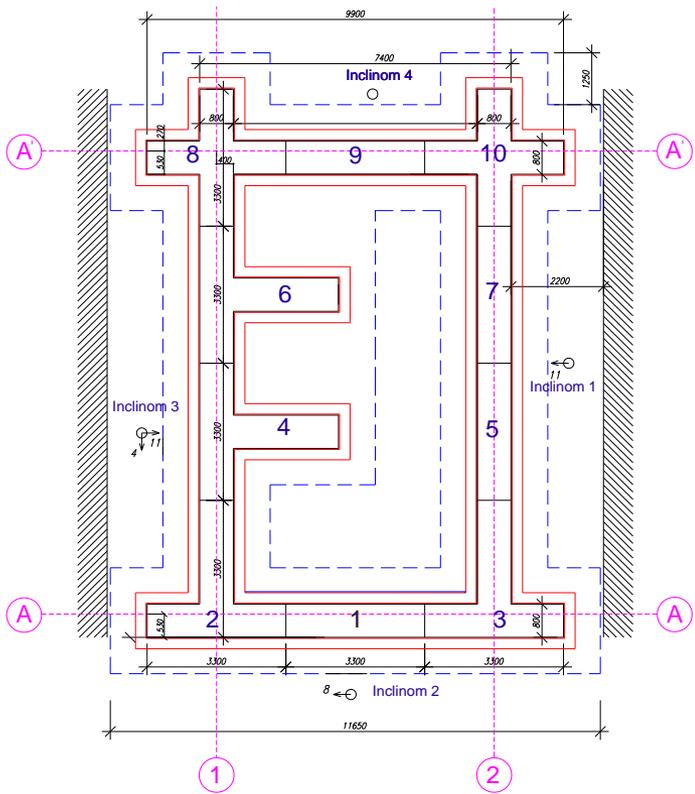
**Там, где не сработает бетон, бесполезен и  
грунтоцемент.**

**Нельзя забывать, что закрепленный грунт по  
струйной технологии – не монолит.**

**Эффективность армирования закрепленного грунта требует  
отдельного исследования. Наивно полагать, что нарушение  
конструктивных принципов армирования железобетона  
даст позитивный результат для грунтоцемента.**

**ЗАКРЕПЛЕННЫЙ ГРУНТ ХОРОШО РАБОТАЕТ НА  
СЖАТИЕ НА НЕБОЛЬШИХ «ПРОЛЕТАХ»**

# ТЕХНОЛОГИЯ «СТЕНА В ГРУНТЕ»



Смещение панелей



# Технология «грунт в стене»

Проницаемость стыков панелей



Оголение арматуры

23/03/2014 13:09

Сквозные отверстия  
(непробетонированные  
участки)

23/03/2014 13:09





# Протечки в наружных стенах подземного сооружения

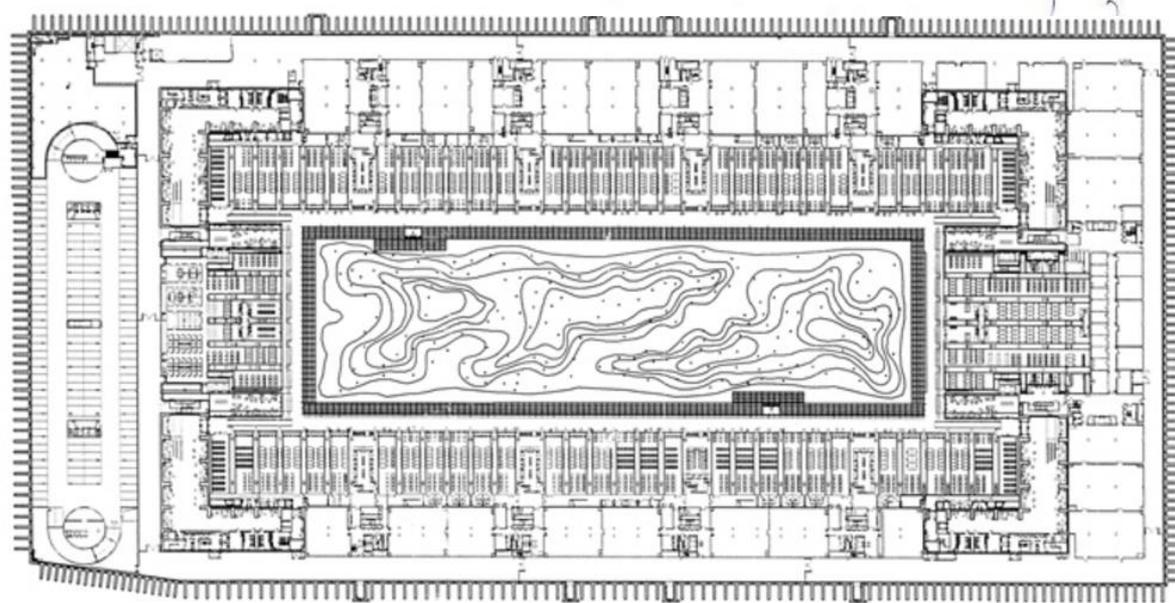
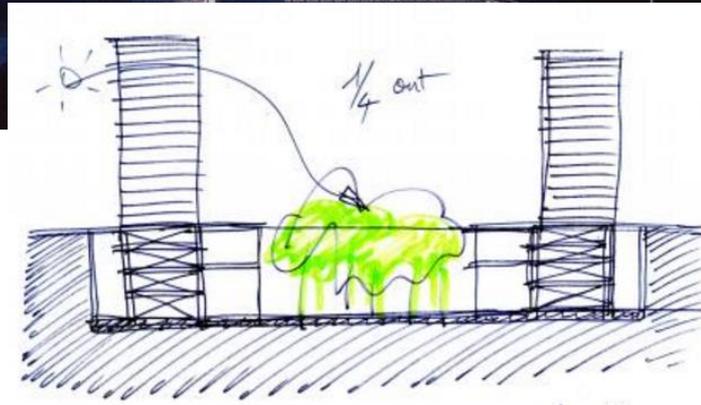
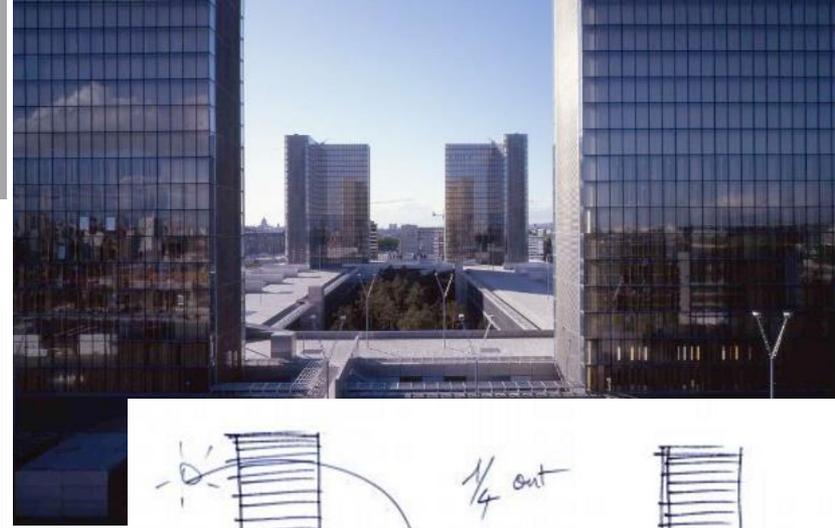
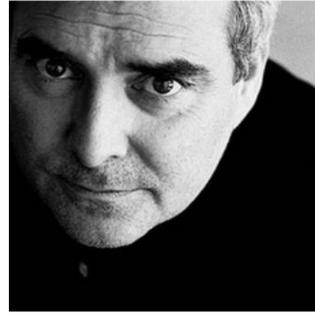


Выявленные протечки по расположению можно разделить на несколько групп:

1. Протечки из холодных швов бетонирования;
  2. Протечки из стихийных швов криволинейного очертания, образовавшихся в результате перерыва в укладке бетонной смеси;
  3. Протечки из локальных трещин раскрытием 0,1-0,3мм;
  4. Протечки из узлов сопряжения прижимная стена-перекрытие;
  5. Протечки, соответствующие местам некачественно выполненной «стены в грунте» (вывалы в процессе устройства);
  6. Протечки, соответствующие потенциально слабым местам «стены в грунте» (угловое сопряжение панелей);
  7. Протечки через трещины и холодные швы фундаментной плиты;
  8. Протечки из мест с некачественно провибрированной бетонной смесью при укладке.
- 
- 

# Проектное решение. Архив в подземном сооружении

Размещение архива в подземном сооружении на -2 и -3 этажах следует признать неудачным решением, хотя и не противоречащим действующим нормам. Для таких помещений не допускается наличие влажных мест на поверхности конструкций, образование конденсата, что весьма затруднительно обеспечить для подземных сооружений. Для обеспечения нормальной эксплуатации архива в подземном сооружении следует предусмотреть специальные компенсационные мероприятия, а именно **устройство вентилируемого технического коридора вдоль наружных стен подземного сооружения.**





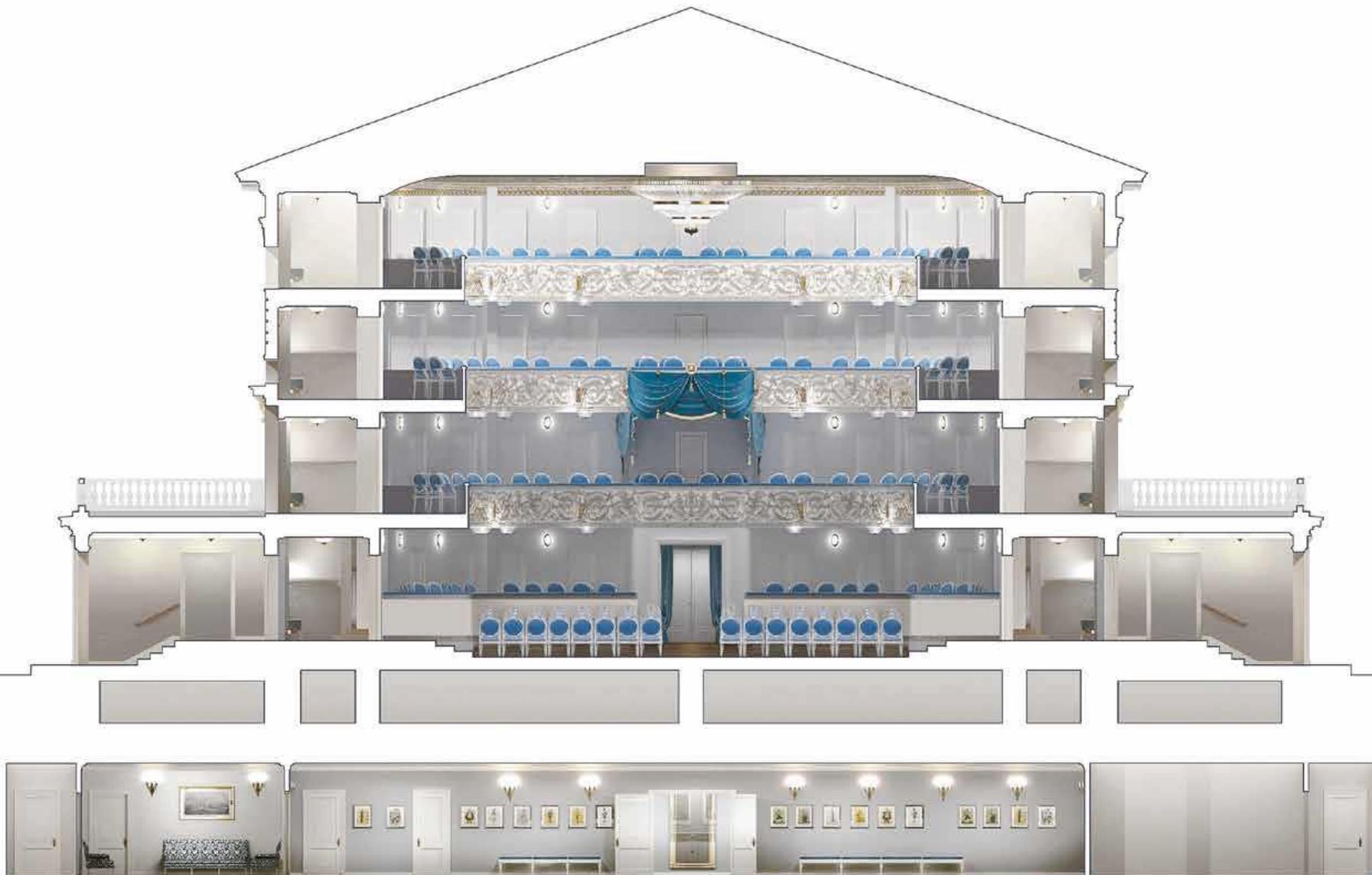
# ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

1. Особенности поведения слабых глинистых грунтов
2. Принцип проектирования подземных сооружений в условиях плотной застройки на слабых грунтах
3. Особенности конструирования ограждения глубокого котлована
4. Особенности применения технологий устройства ограждения котлована
5. **Примеры освоения подземного пространства под памятниками архитектуры**
6. Устройство котлована с помощью «жесткого контура»

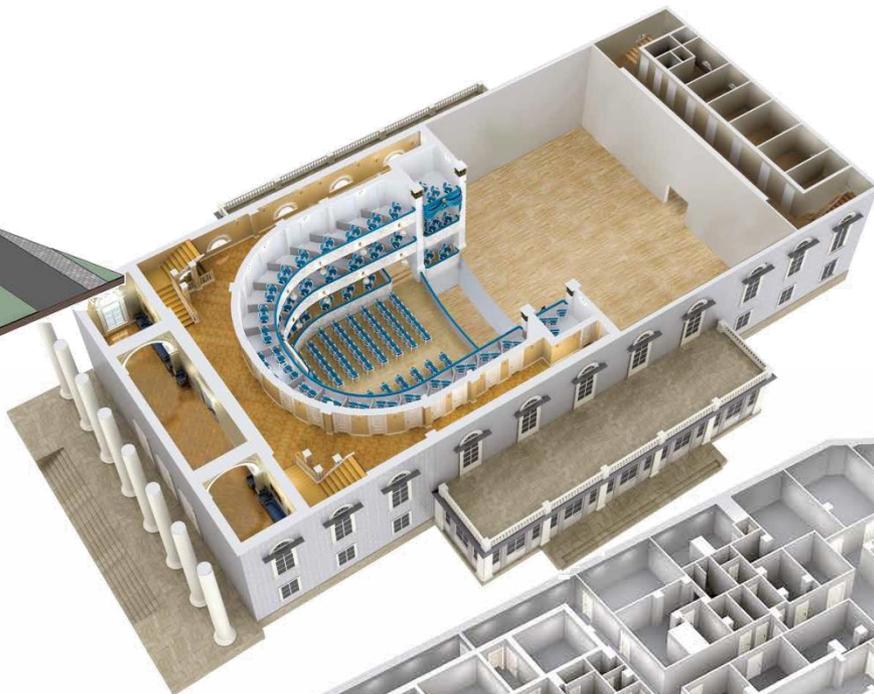


**КАМЕННООСТРОВСКИЙ ТЕАТР:  
ПРИСПОСОБЛЕНИЕ  
ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Золотая медаль на выставке в Лейпциге, 2010 г.**



**Подземный этаж театра в 4 раза больше площади исторического здания**



В подземном пространстве разместились гардеробы, фойе, кафе, служебные и технические помещения, оборудование трюма сцены, склады декораций

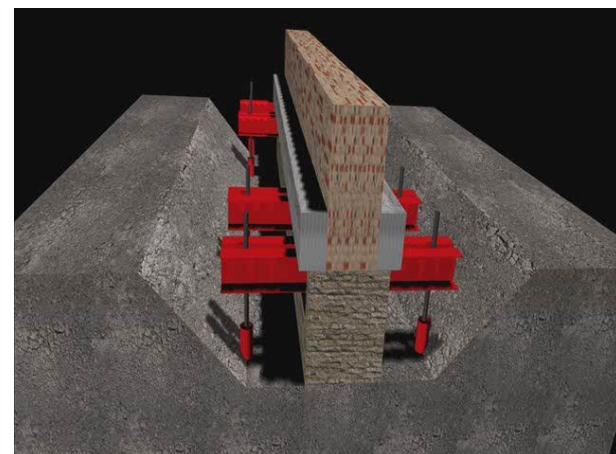
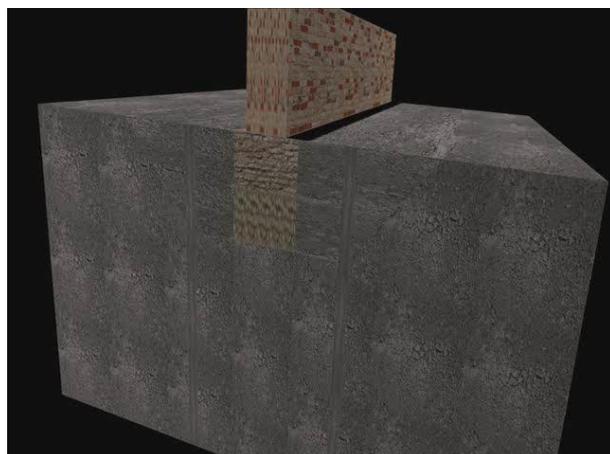
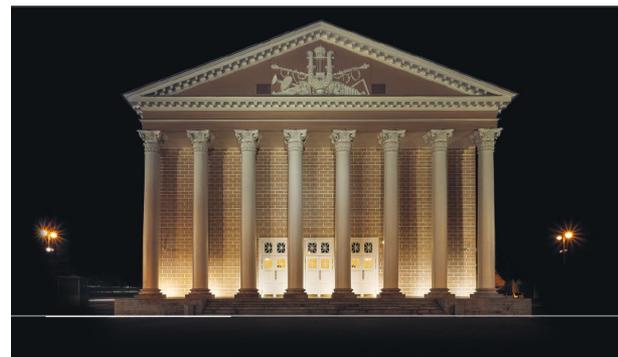


Применялся метод «Тор – down» в реставрационной модификации:  
вверх шла реставрация, вниз – подземное строительство

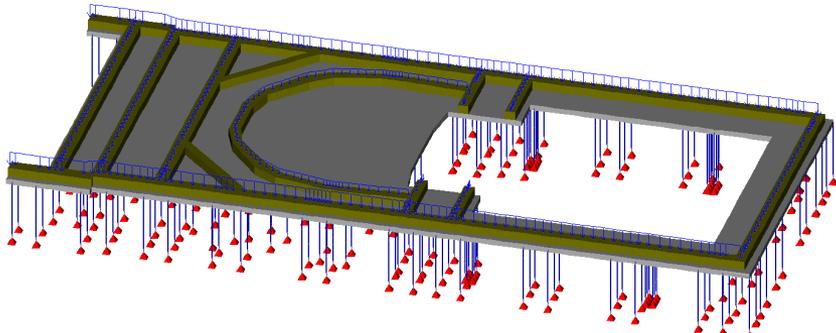
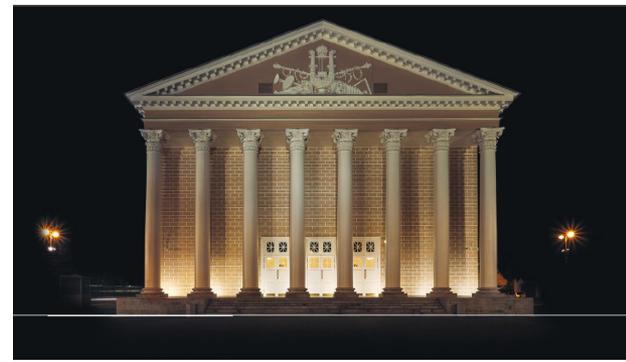




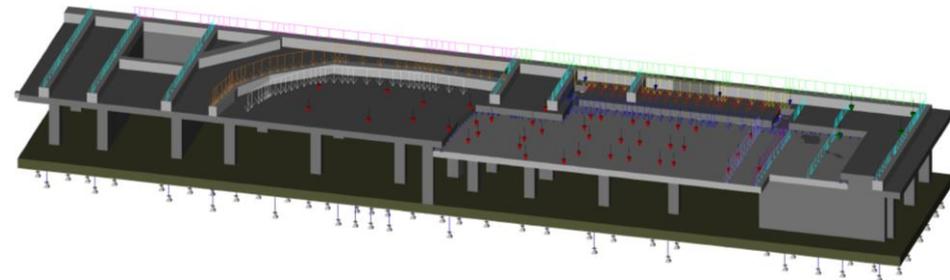
# Устройство подземного объема под зданием театра: пересадка на сваи; устройство верхней плиты; откопка подземного пространства



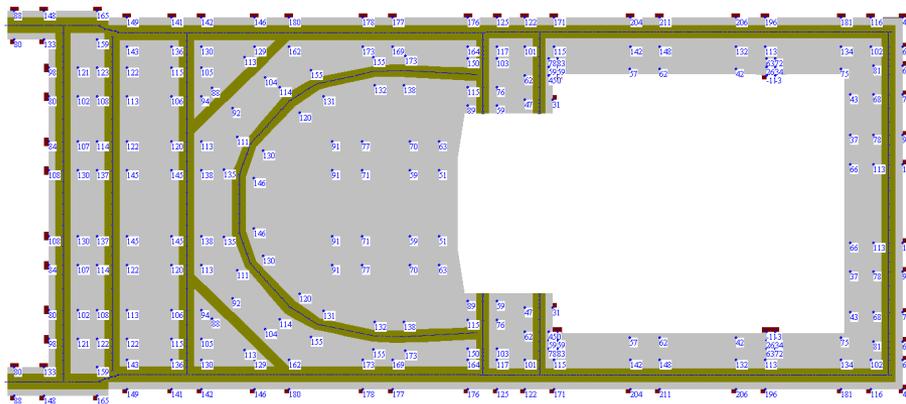
# Устройство подземного объема под зданием театра. Расчетное обоснование



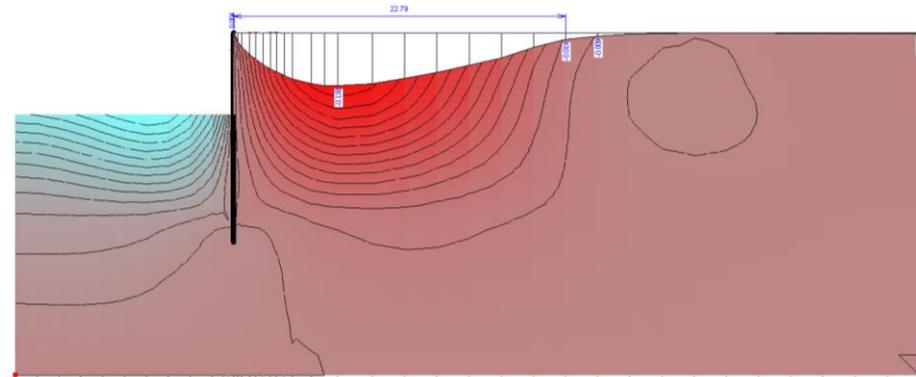
Расчет плиты жесткого диска под зданием театра на отметке -2.0



Расчет подземных конструкций театра



Нагрузки на сваи усиления «Titan» (кН)



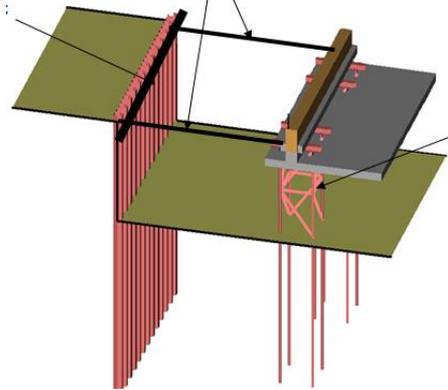
Расчет влияние на окружающий массив грунта при экскавации грунта

# Устройство подземного объема под зданием театра: бетонирование днища на отм. – 6.0

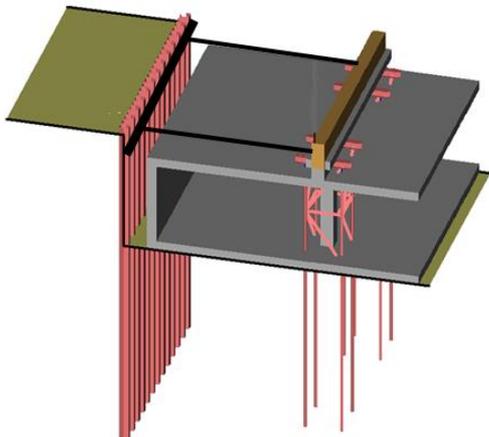
Откопка грунта до проектной отметки с установкой раскосов

Распорки

Раскосы



Бетонирование стен и колонн подземной части

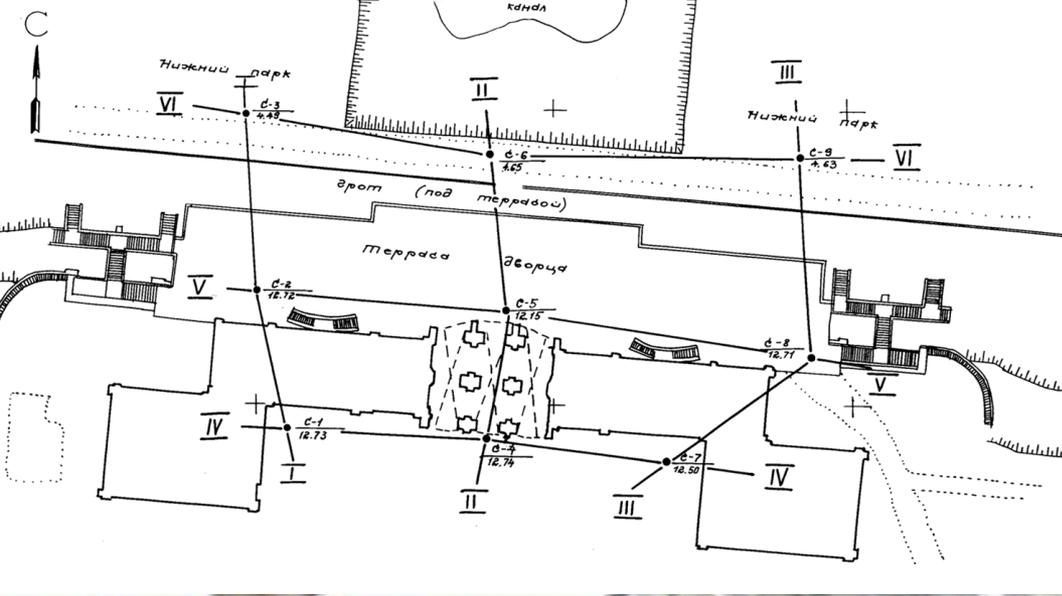






Так выглядел дворец в 2001 г.

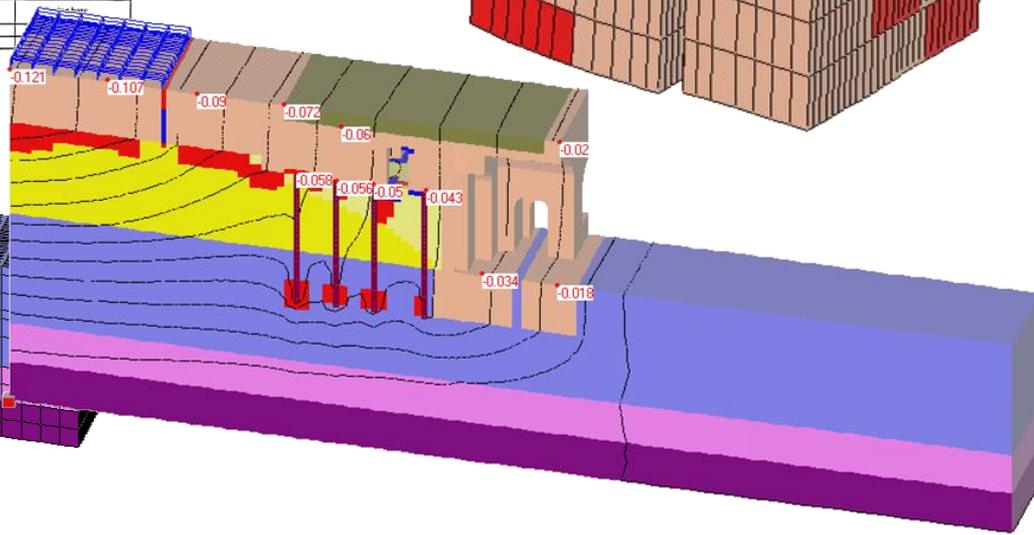
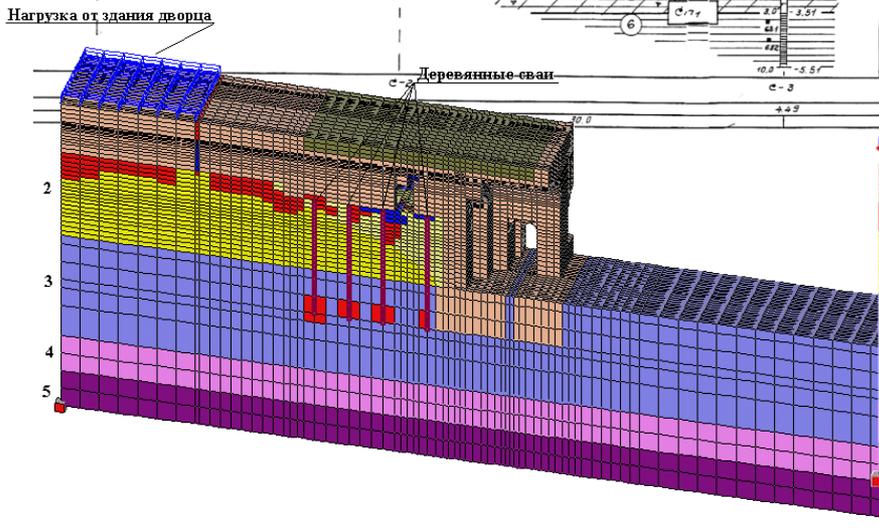
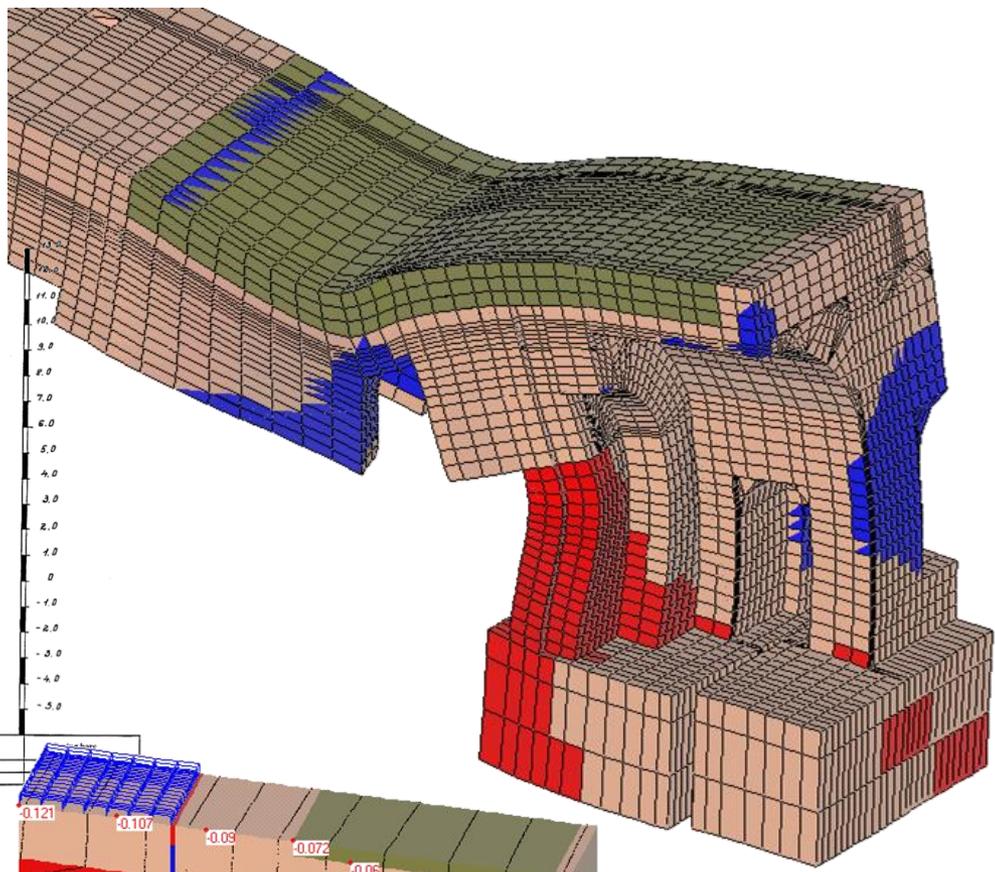
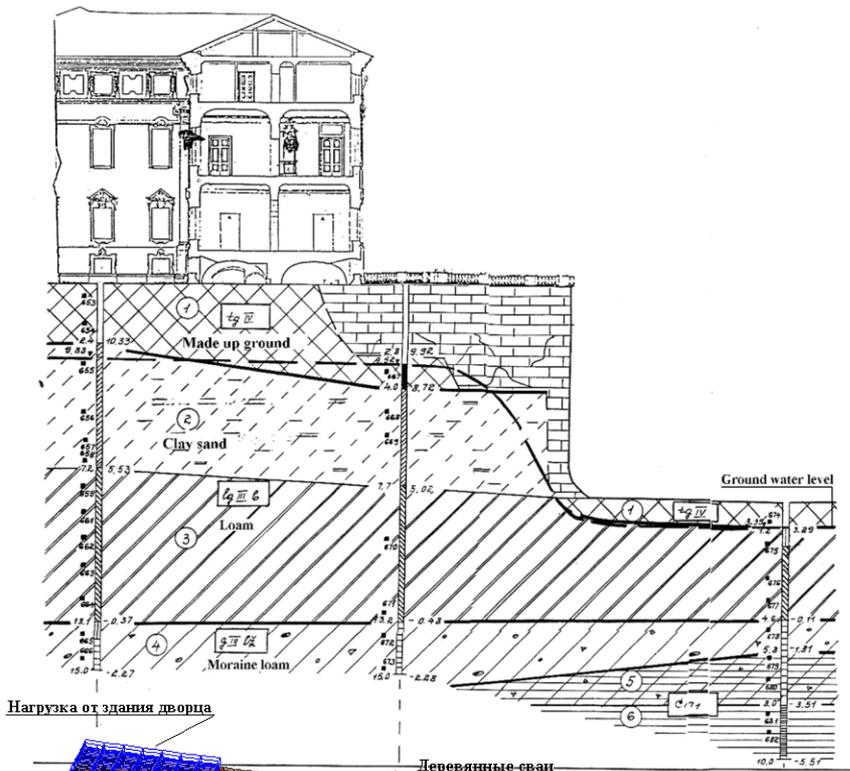




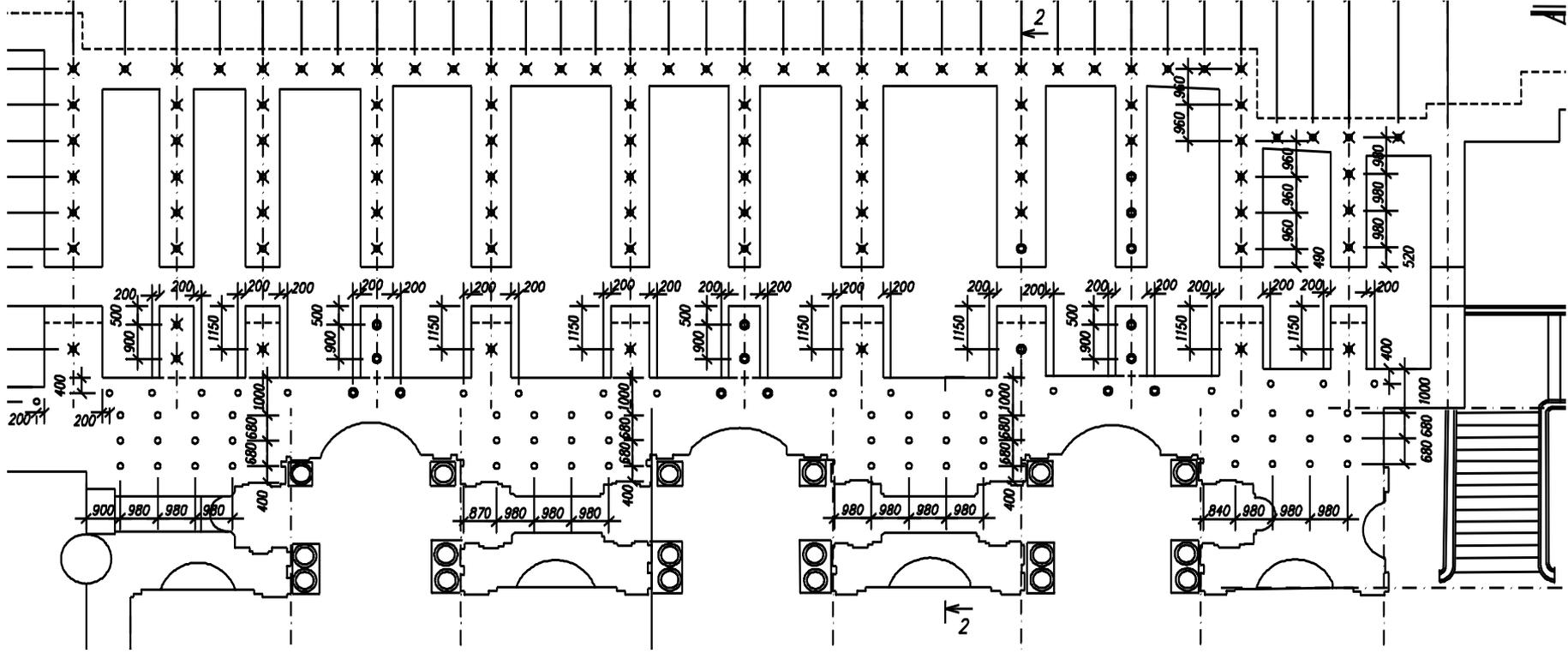
Неисправная система водоотведения, предусматривающая сброс воды с террасы через конструкции подпорного сооружения, привели к его разрушению



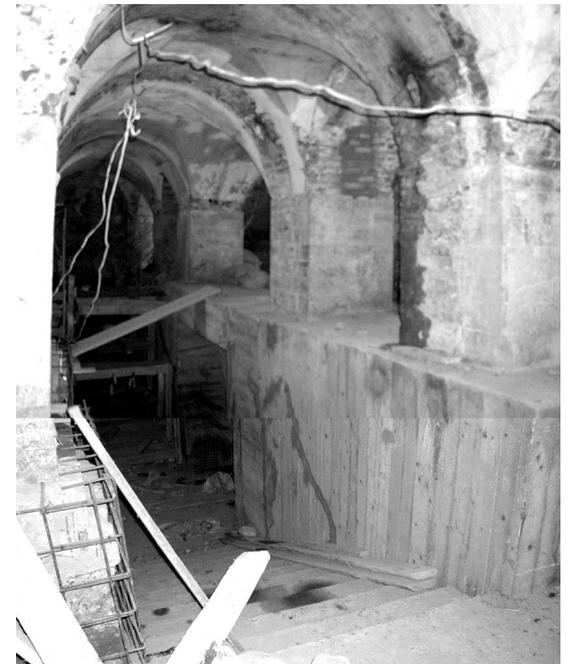
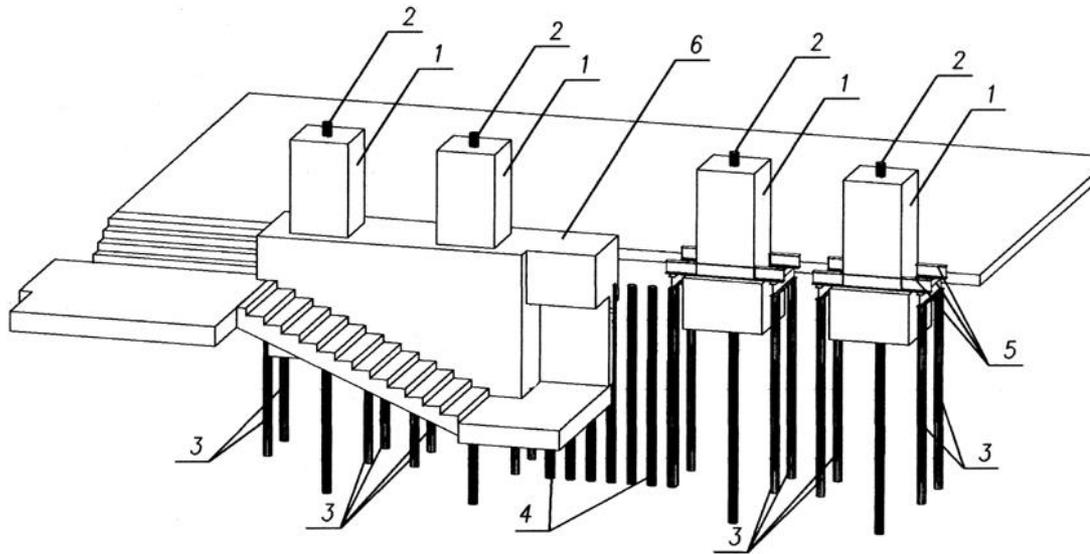
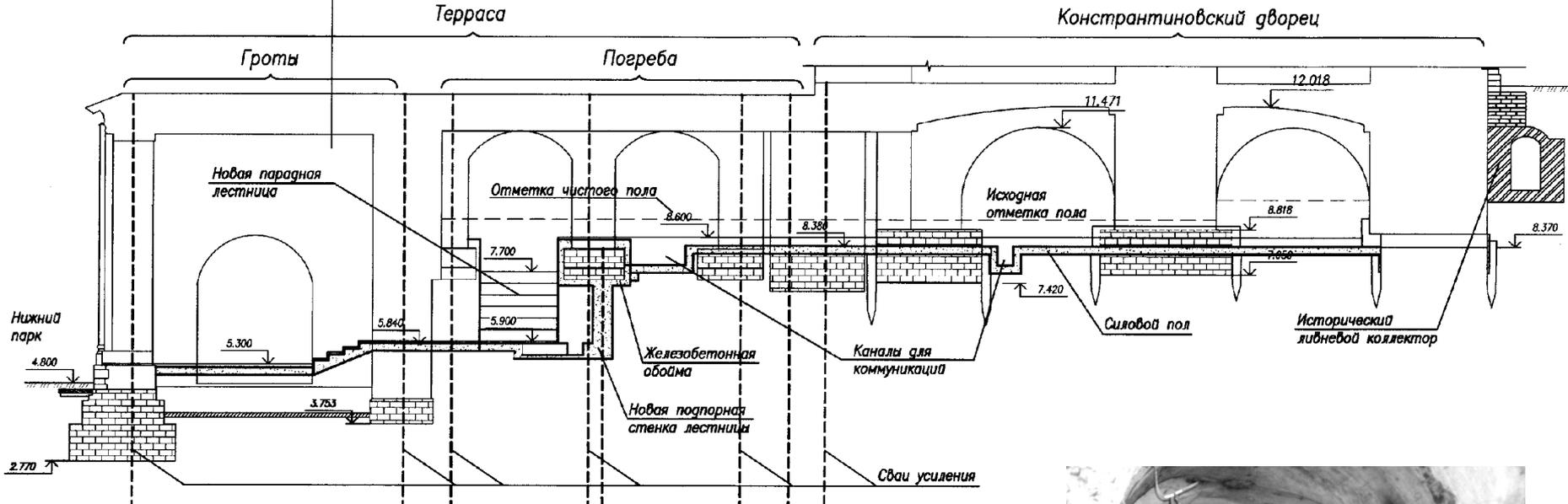
# Прогноз развития деформаций подпорных сооружений Константиновского дворца



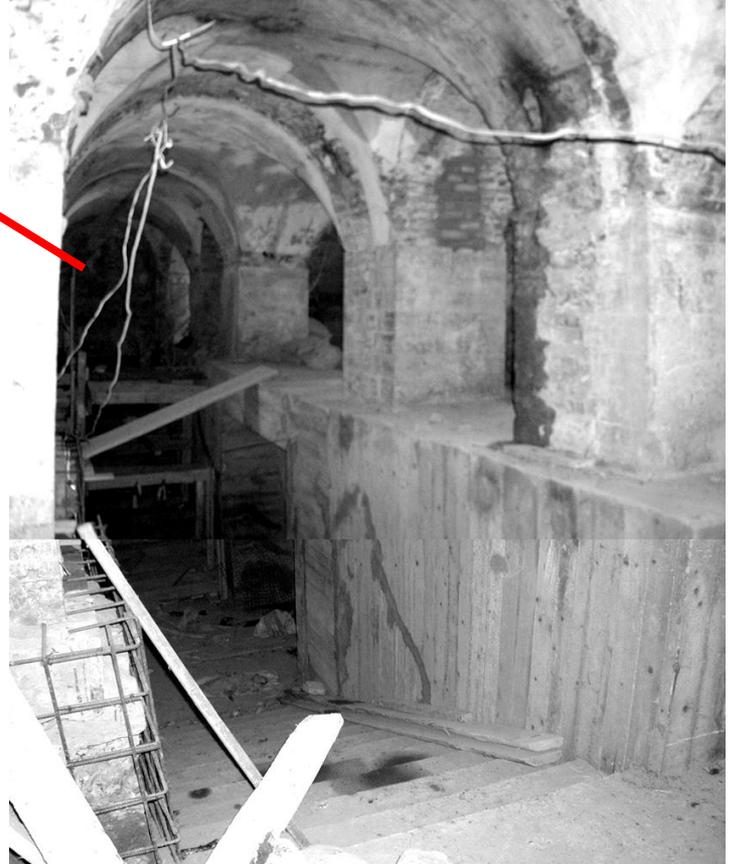
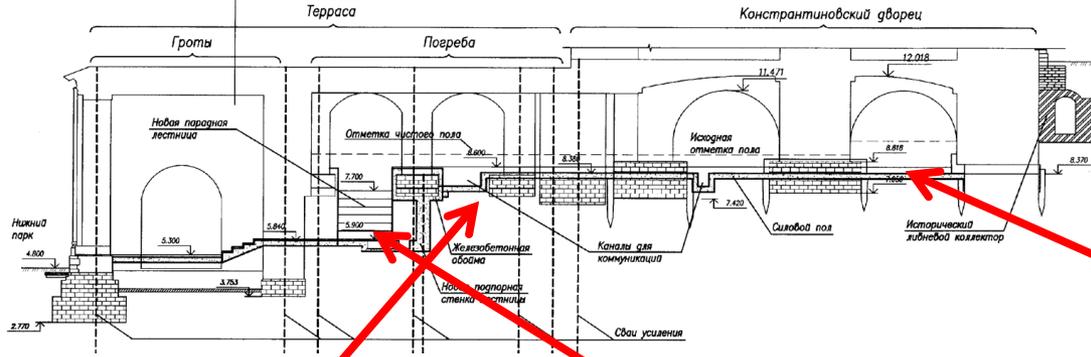
# Усиление подпорных сооружений сваями



Конструкция покрытия с системой  
 снеготаяния и лотками водоотведения  
 Гидроизоляция  
 Железобетонная плита  
 Гидроизоляция из свинца (историческая)  
 Кирпичные своды

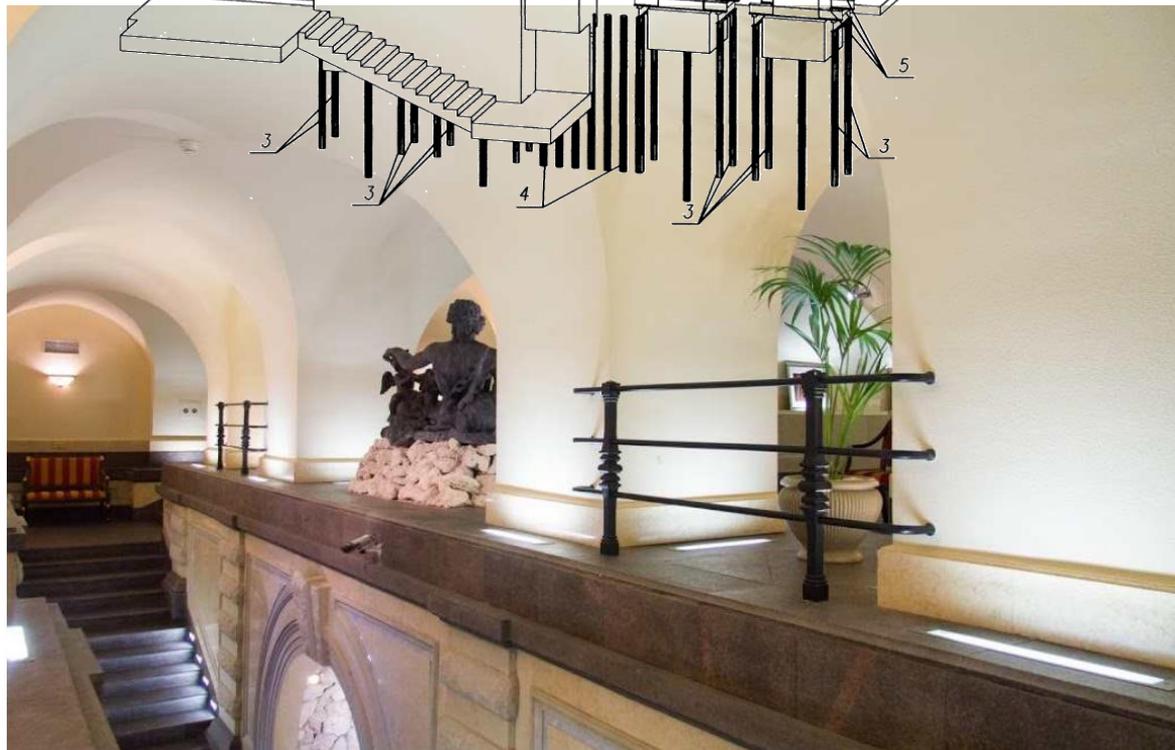
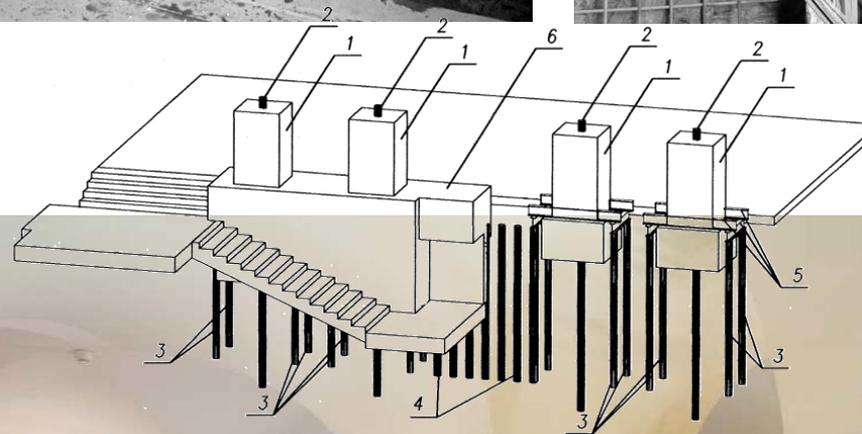


Конструкция покрытия с системой  
осветотехники и лотками водоотведения  
Гидроизоляция  
Железобетонная плита  
Гидроизоляция из битума (историческая)  
Кирпичные сваи





Устройство  
парадного  
входа во  
дворец из  
Нижнего парка

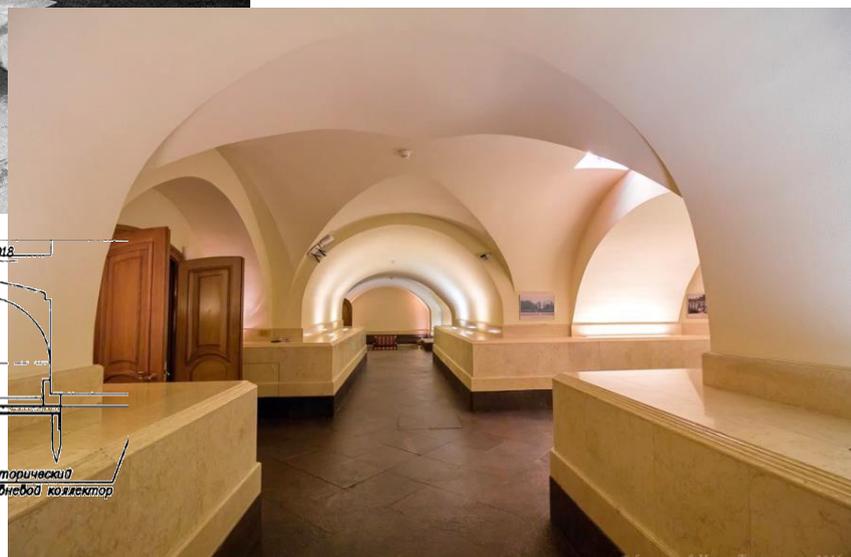
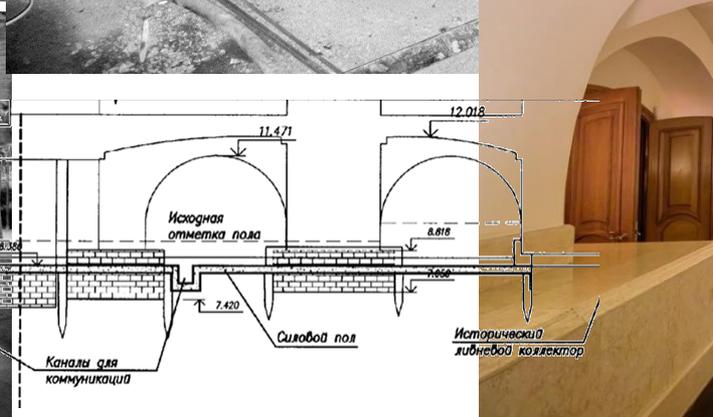




Усиление  
конструкции  
подпорного  
сооружения  
(лоджий, гrotов и  
погребов)  
пересадкой на  
сваи



# Устройство вестибюля для входа со стороны Нижнего парка





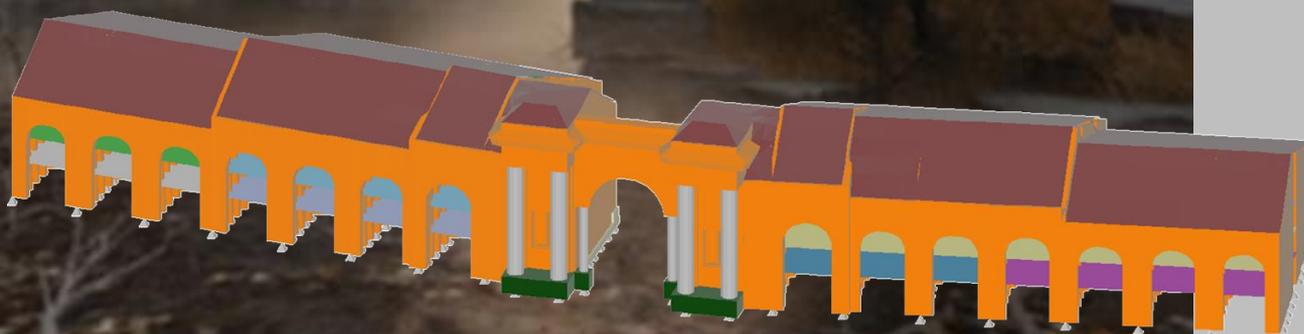
В 2002 – 2003 г.

- Выполнено усиление фундаментов подпорных сооружений сваями;
- Устроен парадный вестибюль под дворцом;
- Усилены конструкции фундаментов дворца;
- Усилена кирпичная кладка стен



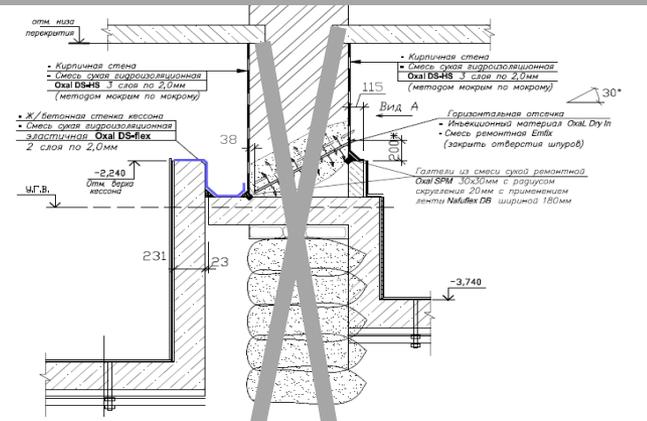
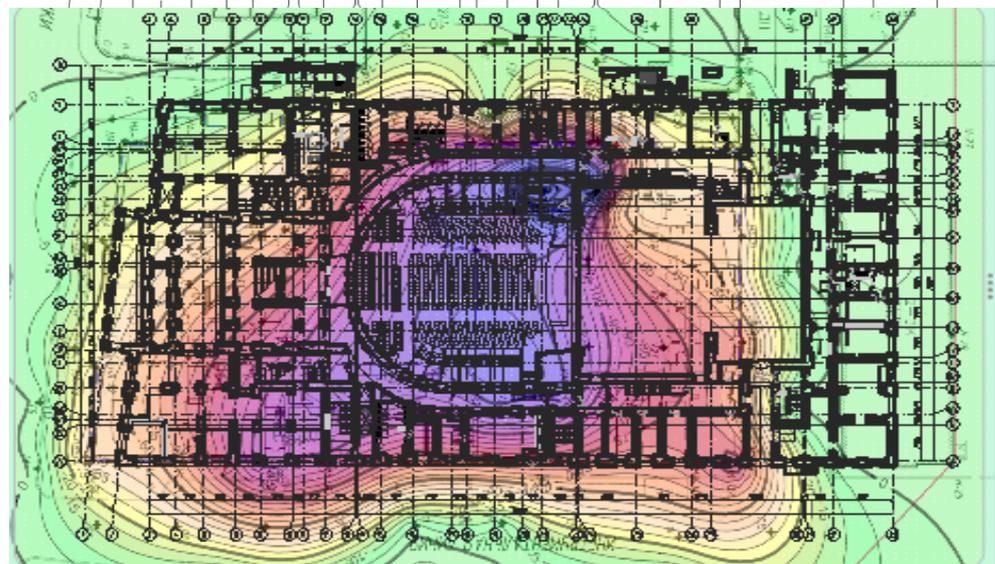
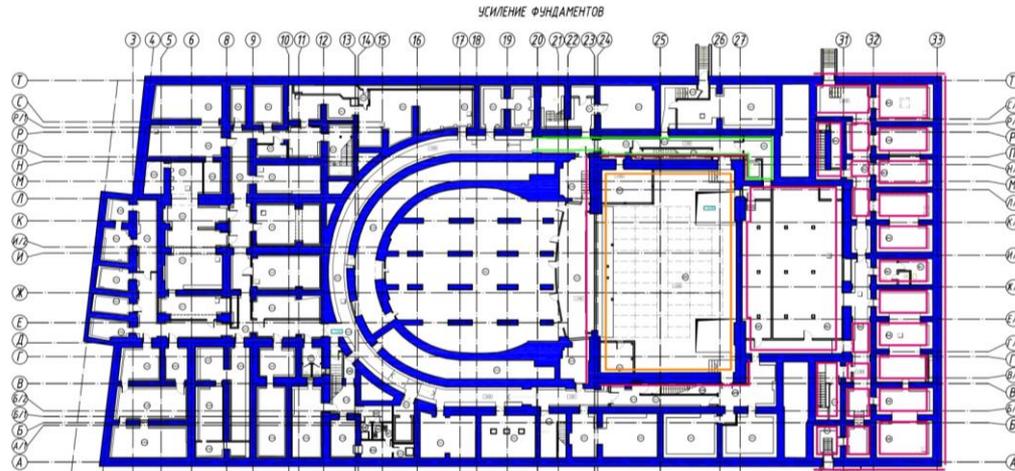
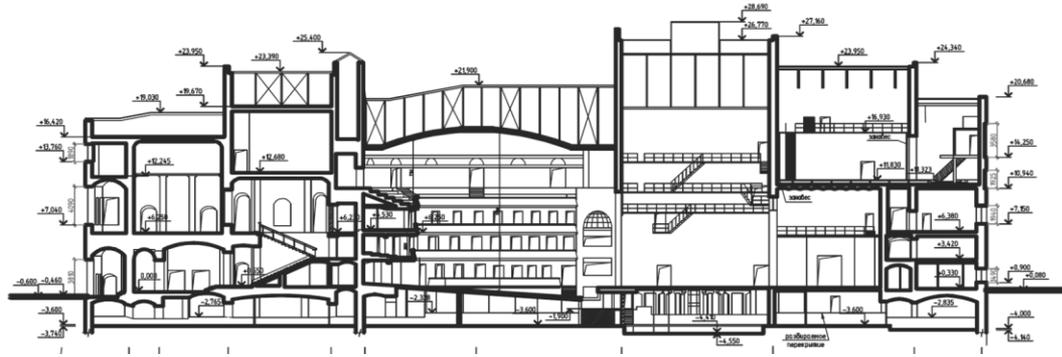
# Ансамбль «Новая Голландия»

**Реставрация и  
приспособление для  
современного  
использования с  
устройством подземных  
объемов**



**Золотая медаль на  
выставке в Лейпциге,  
2018 г**

# БДТ им.Г.А.Товстоногова: В процессе реконструкции произошли осадки до 185 мм



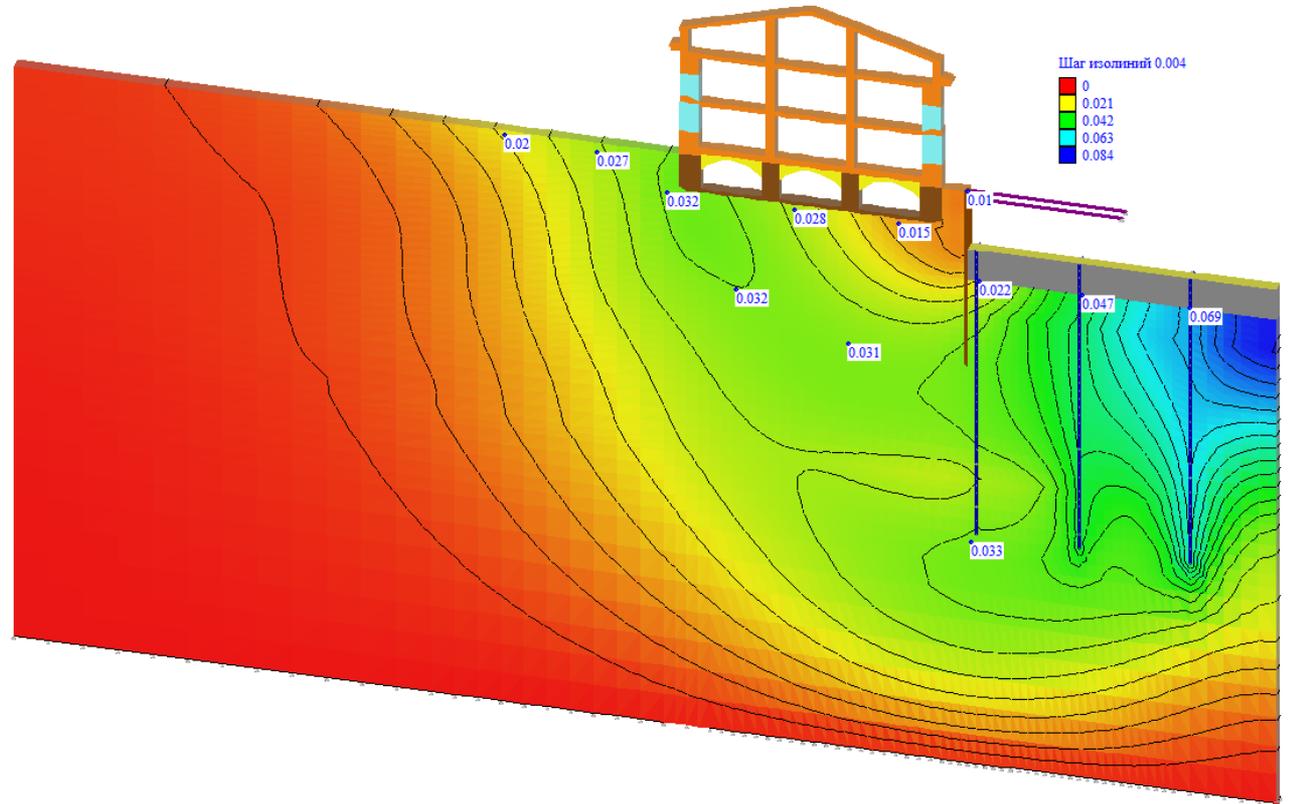
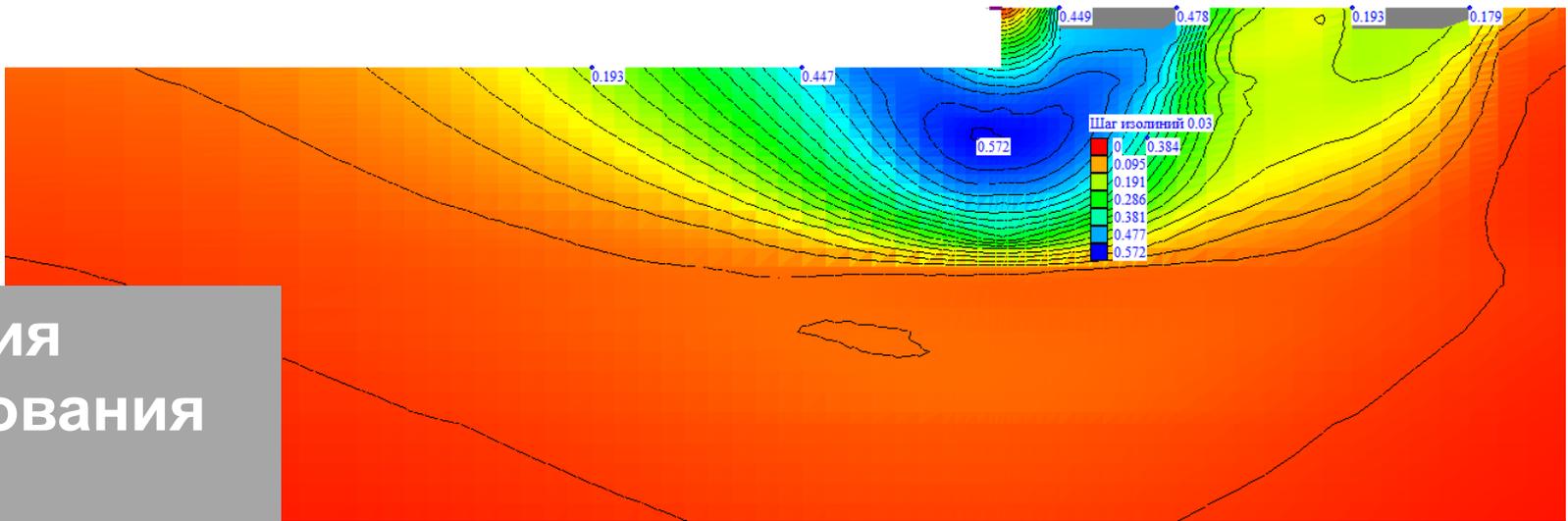
**Развитие неравномерных осадок  
продолжается со скоростью до 2 мм в  
месяц, что привело к раскрытию трещин  
в подвальной части и протечкам**





# ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

1. Особенности поведения слабых глинистых грунтов
2. Принцип проектирования подземных сооружений в условиях плотной застройки на слабых грунтах
3. Особенности конструирования ограждения глубокого котлована
4. Особенности применения технологий устройства ограждения котлована
5. Примеры освоения подземного пространства под памятниками архитектуры
6. **Устройство котлована с помощью «жесткого контура»**



Тенденция формирования кругло-цилиндрических поверхностей при устройстве большого в плане котлована, по которым выстраиваются векторы главных перемещений

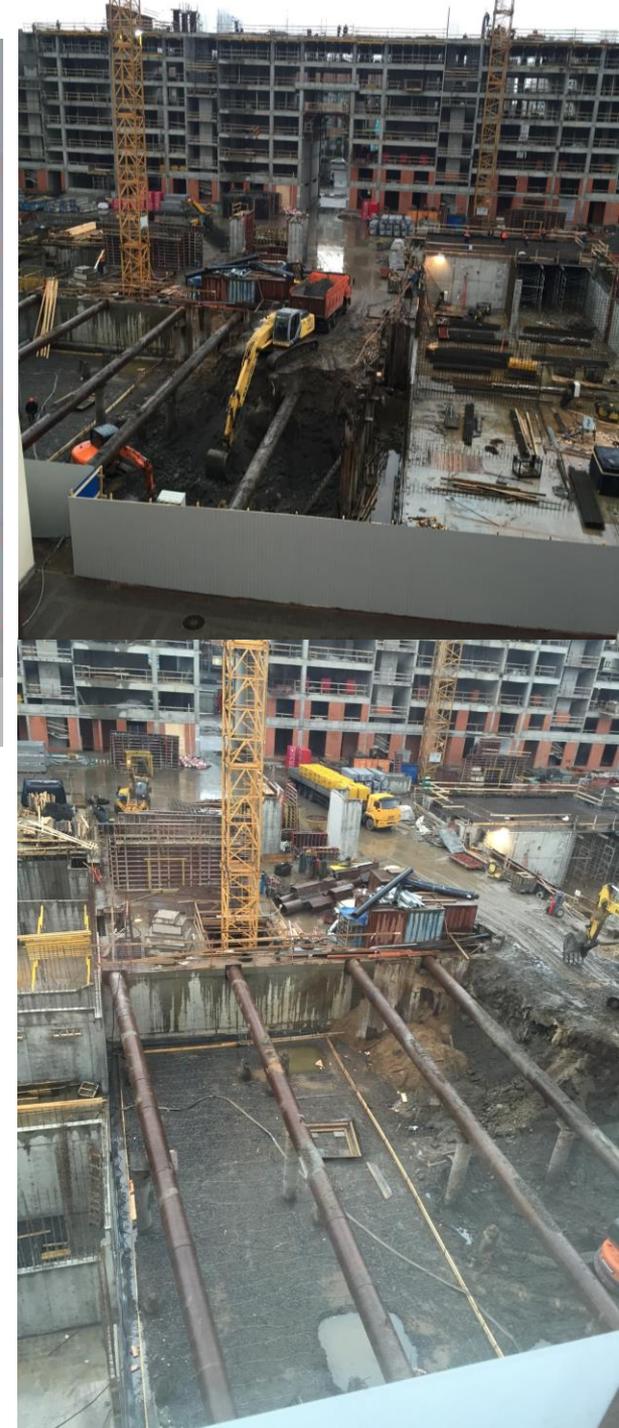
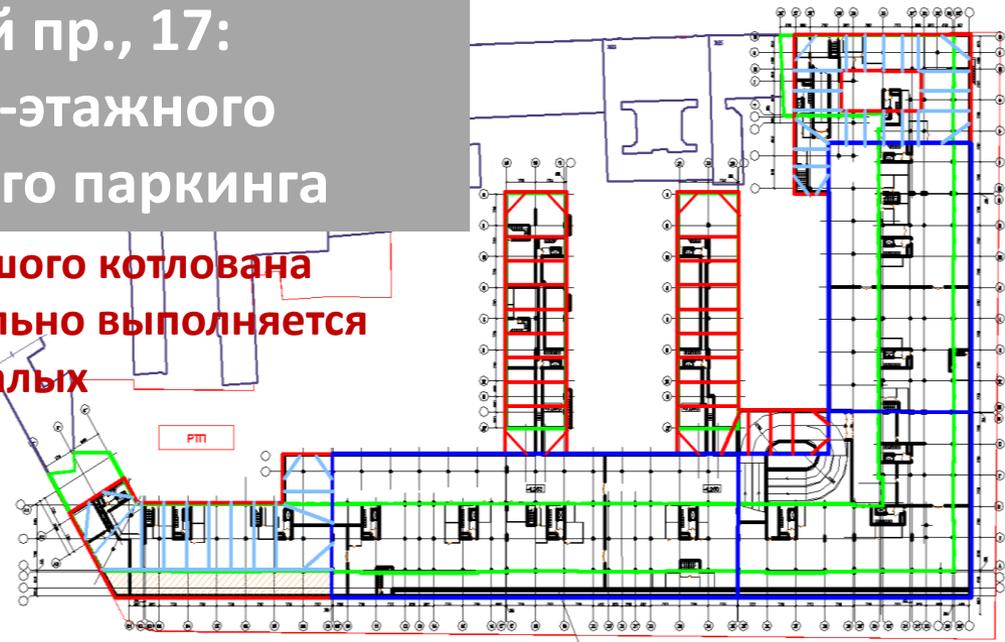
# Смольный пр., 17: Вариант 2-этажного подземного паркинга

Котлован большого размера  
обуславливает значительные  
горизонтальные смещения  
ограждения

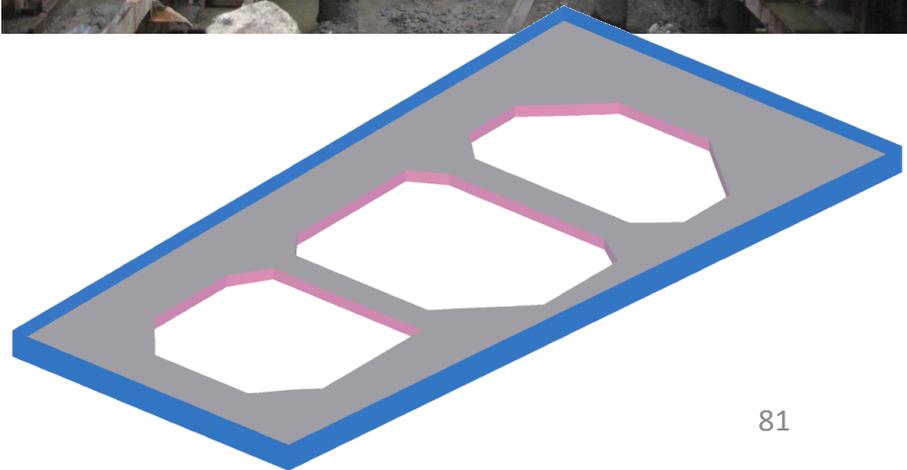
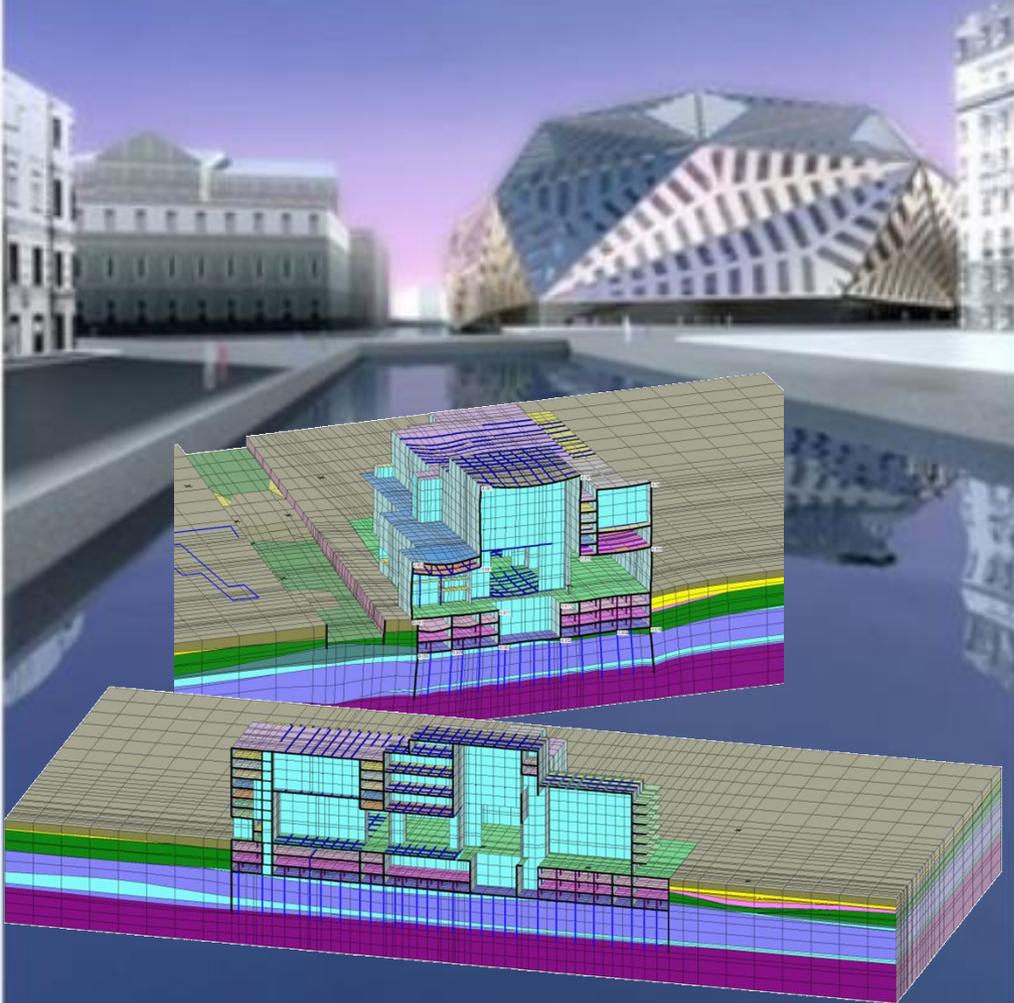


# Смольный пр., 17: Вариант 3-этажного подземного паркинга

Вместо большого котлована  
последовательно выполняется  
несколько малых



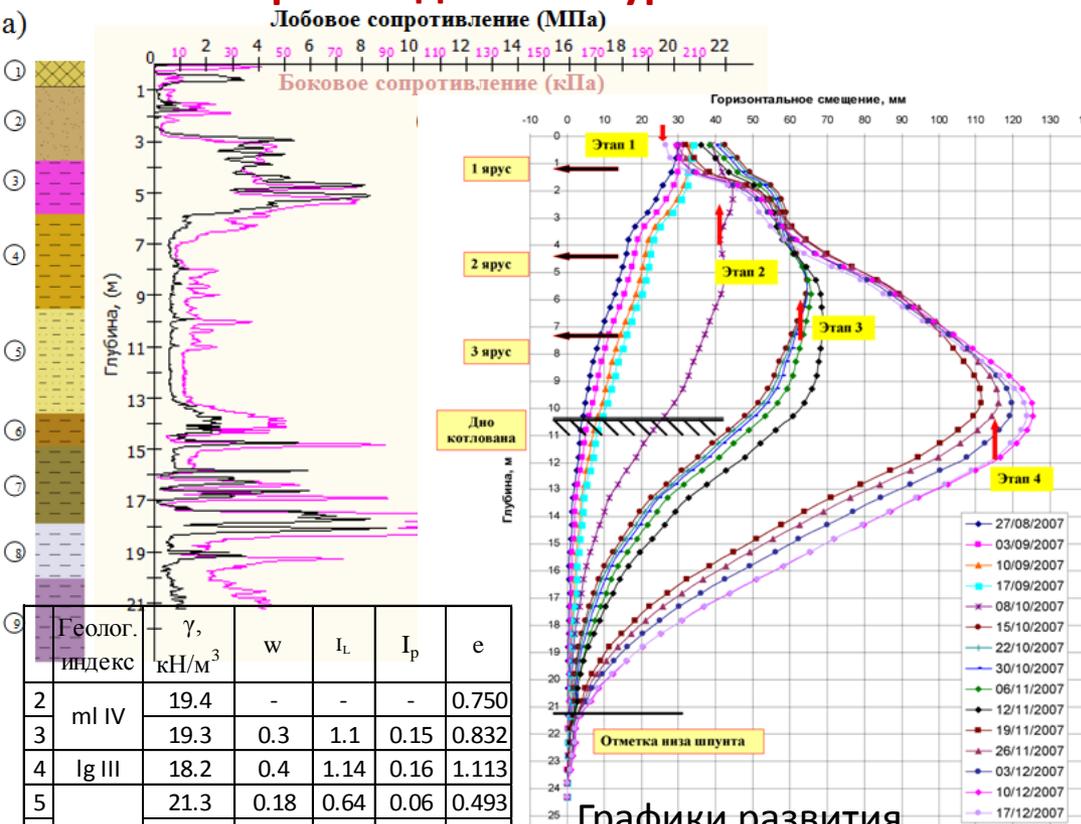
Вторая сцена  
Мариинского театра  
(автор проекта – Доминик Перро)



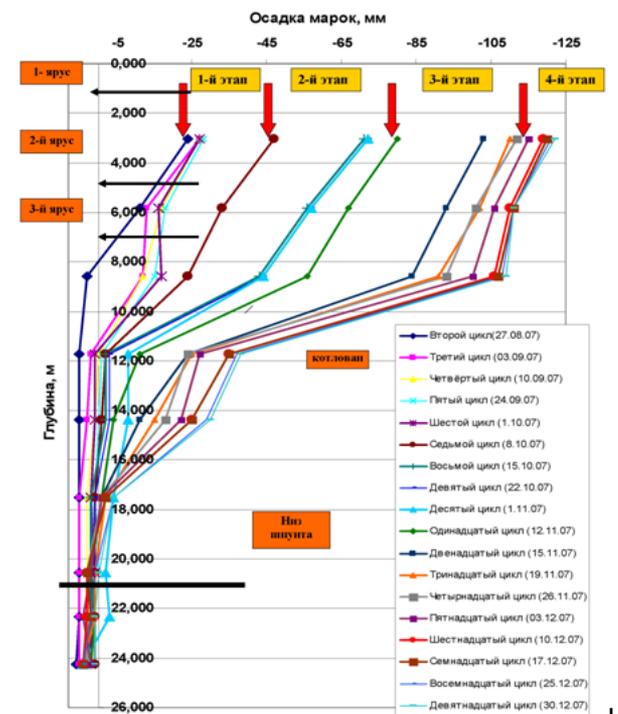
# Комплексные натурные исследования поведения массива грунта при откопке опытного котлована Второй сцены Мариинского театра



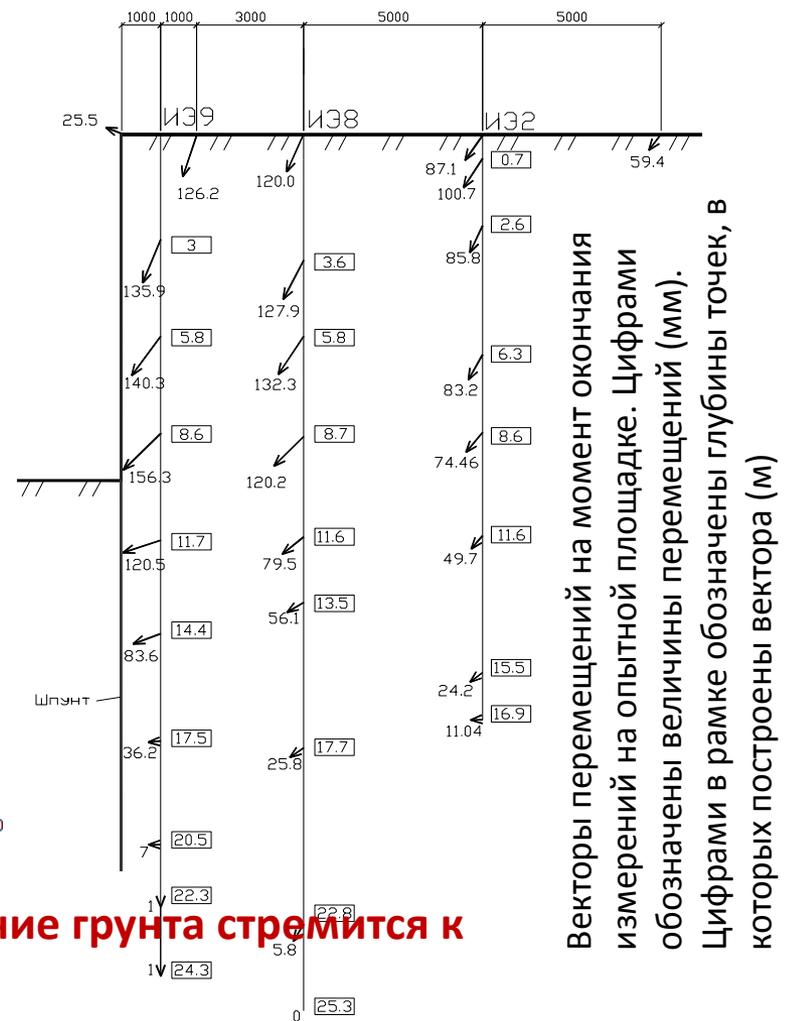
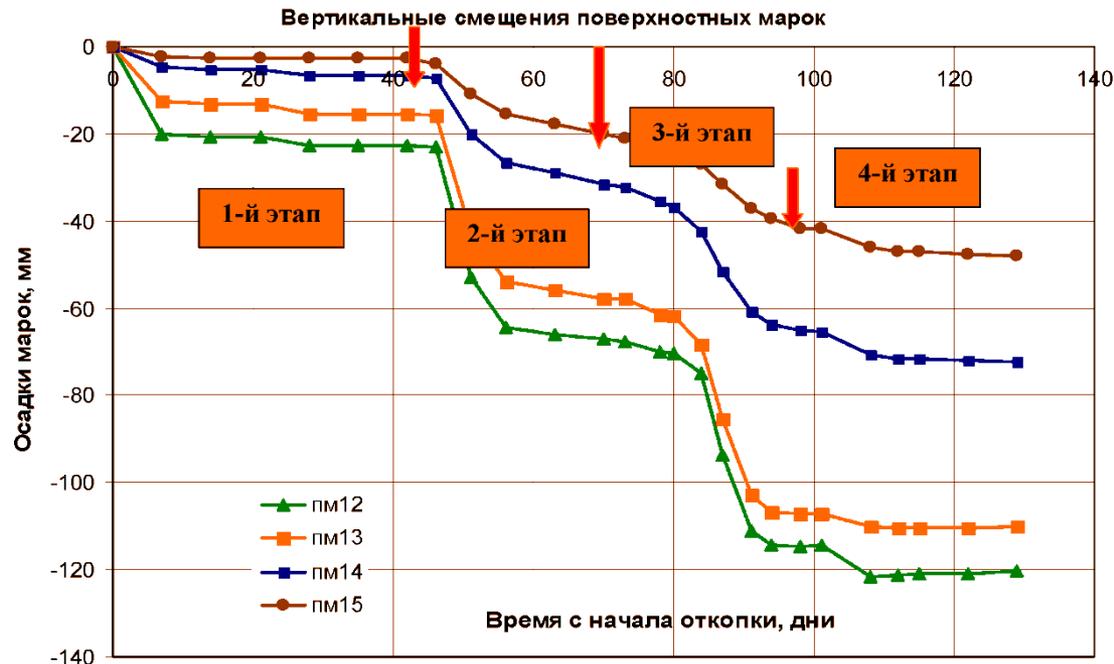
**Наибольшие горизонтальные смещения ограждения котлована происходят ниже уровня откопки**



Графики развития горизонтальных смещений (мм)



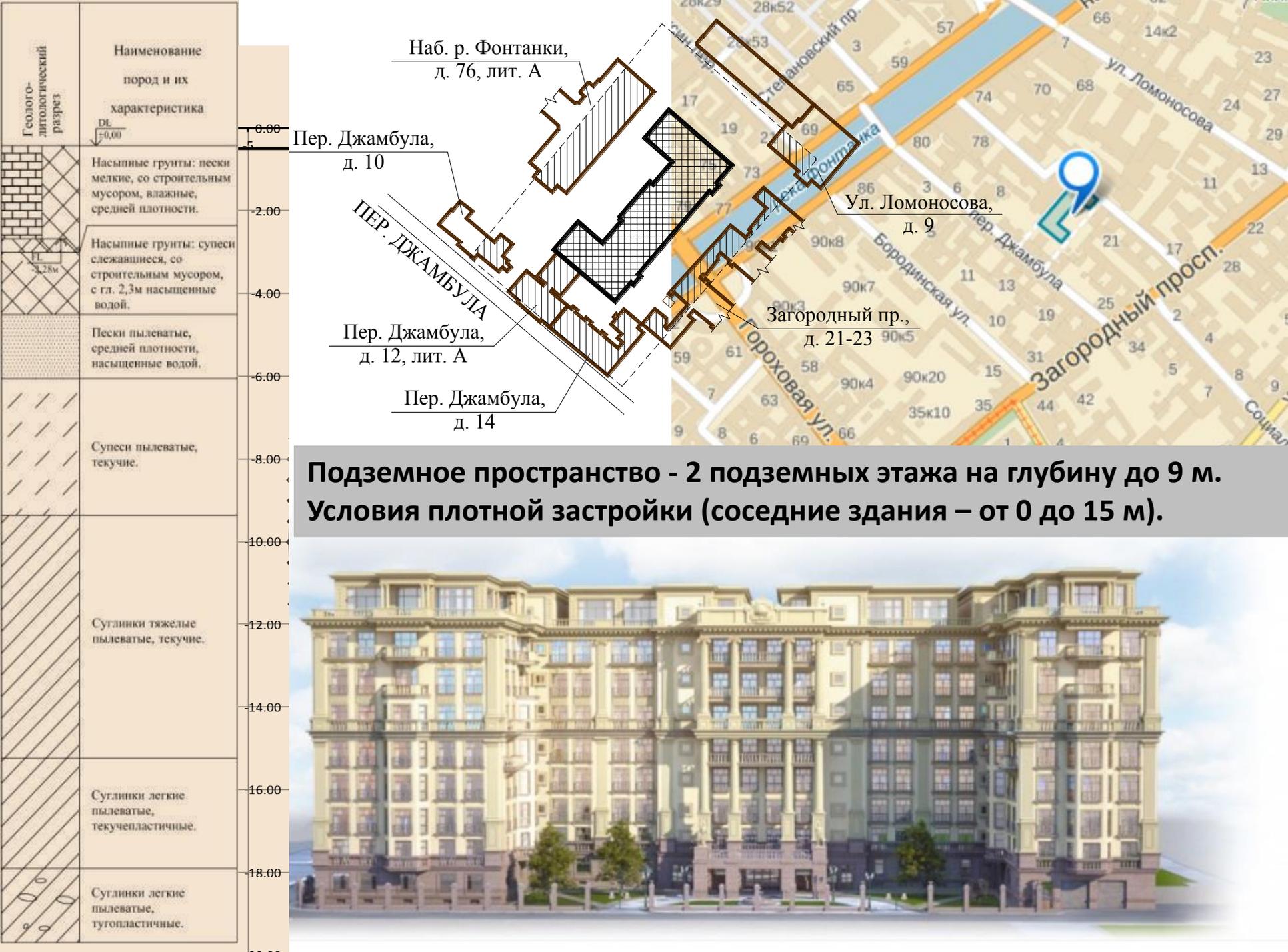
Графики развития осадок (мм) глубинных марок



**Боковое давление грунта стремится к вертикальному**



Ховард-Палас  
Загородный пр., 19  
2-этажное подземное  
пространство



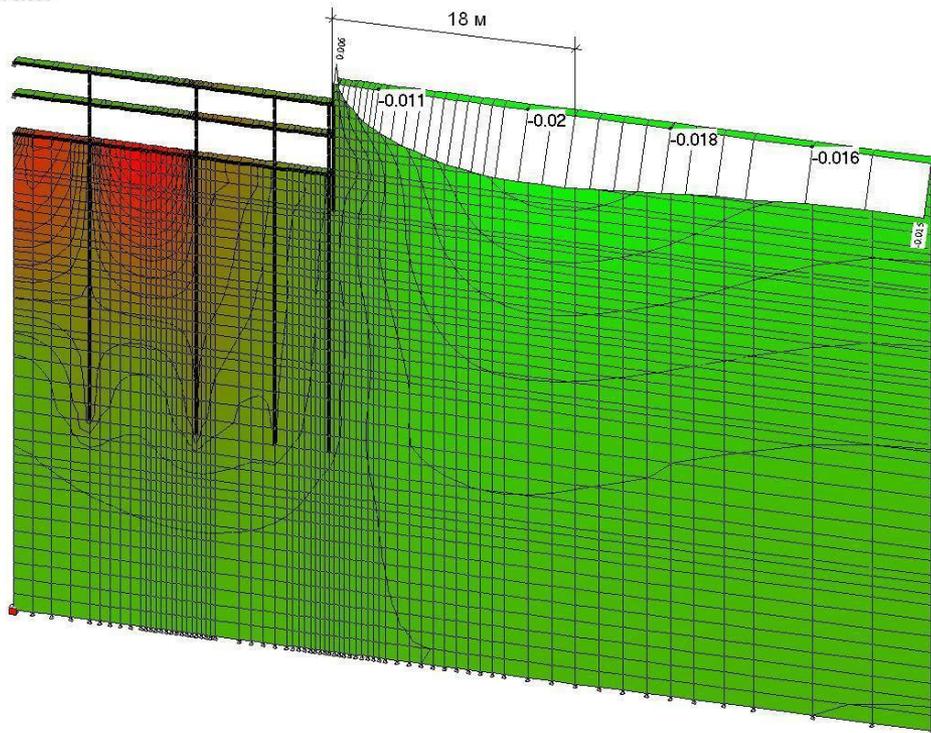
Геологический разрез	Наименование пород и их характеристика
DL ↓ 0,00	Насыпные грунты: пески мелкие, со строительным мусором, влажные, средней плотности.
PL ↓ 2,28м	Насыпные грунты: супеси слежавшиеся, со строительным мусором, с гл. 2,3м насыщенные водой.
	Пески пылеватые, средней плотности, насыщенные водой.
	Супеси пылеватые, текучие.
	Суглинки тяжелые пылеватые, текучие.
	Суглинки легкие пылеватые, текучепластичные.
	Суглинки легкие пылеватые, тугопластичные.

**Подземное пространство - 2 подземных этажа на глубину до 9 м.  
Условия плотной застройки (соседние здания – от 0 до 15 м).**

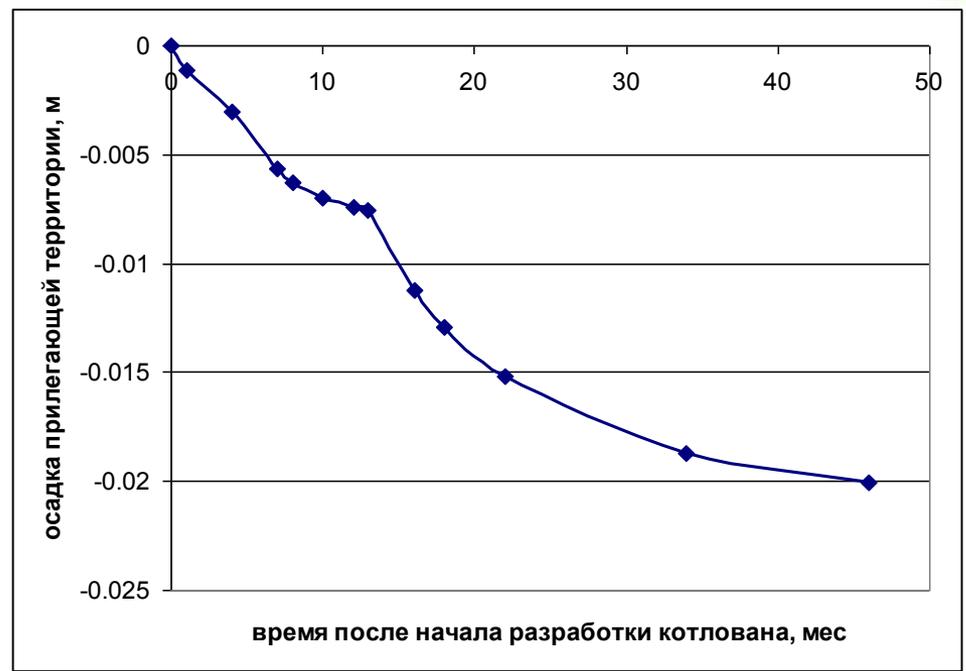
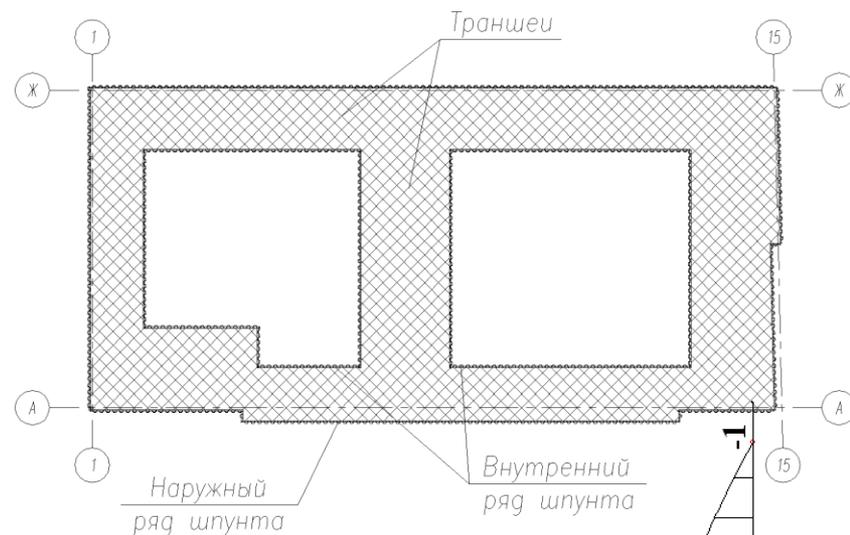


Шаг изолиний 0.003

-0.02  
0.014  
0.049

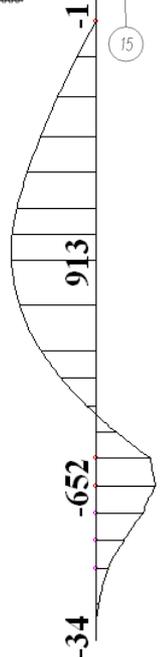


**Вариант применения технологии струйного закрепления грунта ниже дна котлована и шпунтового ограждения, эквивалентного по жесткости Ларсен Л5**

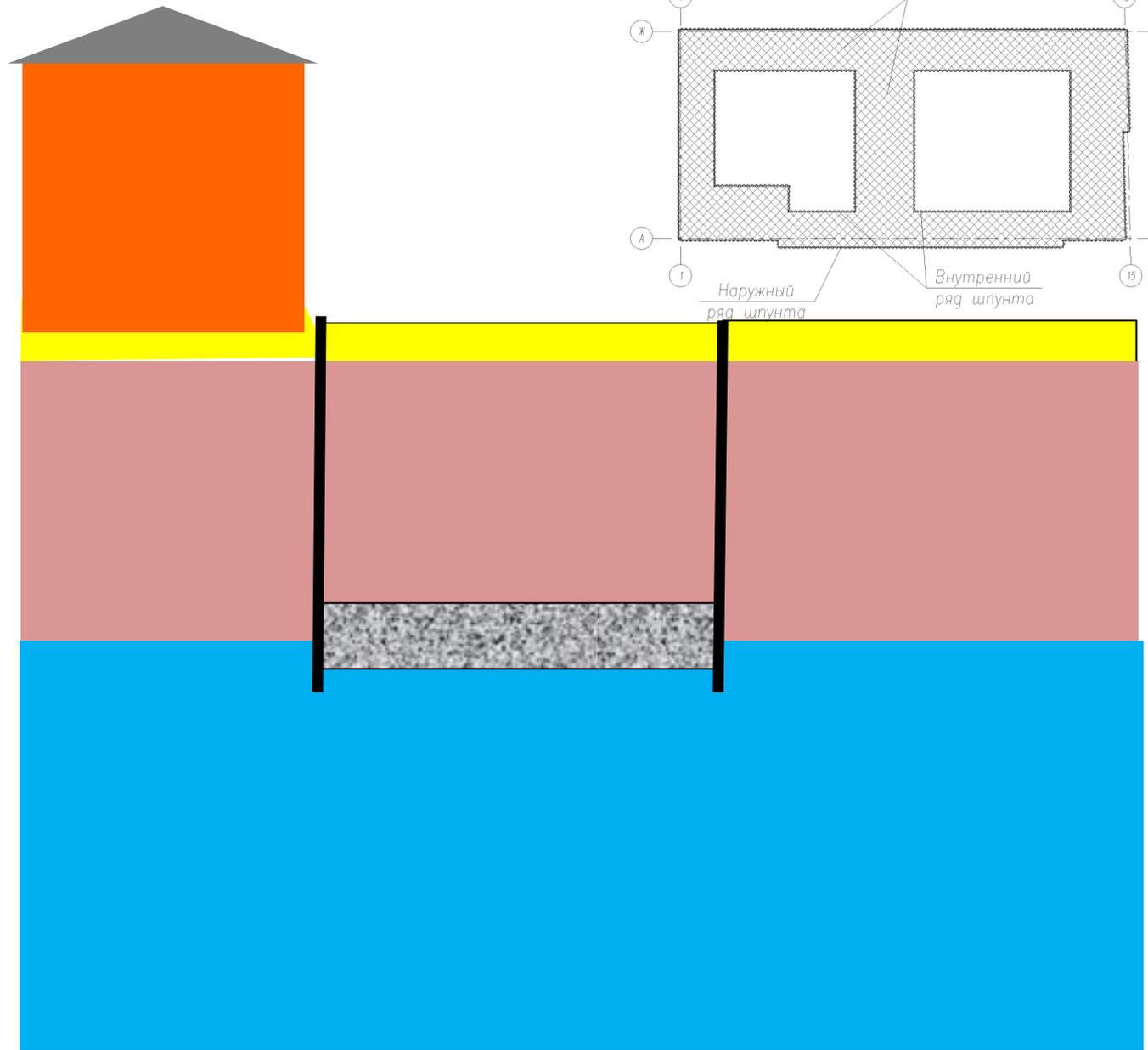


Вертикальные деформации прилегающей территории (м)

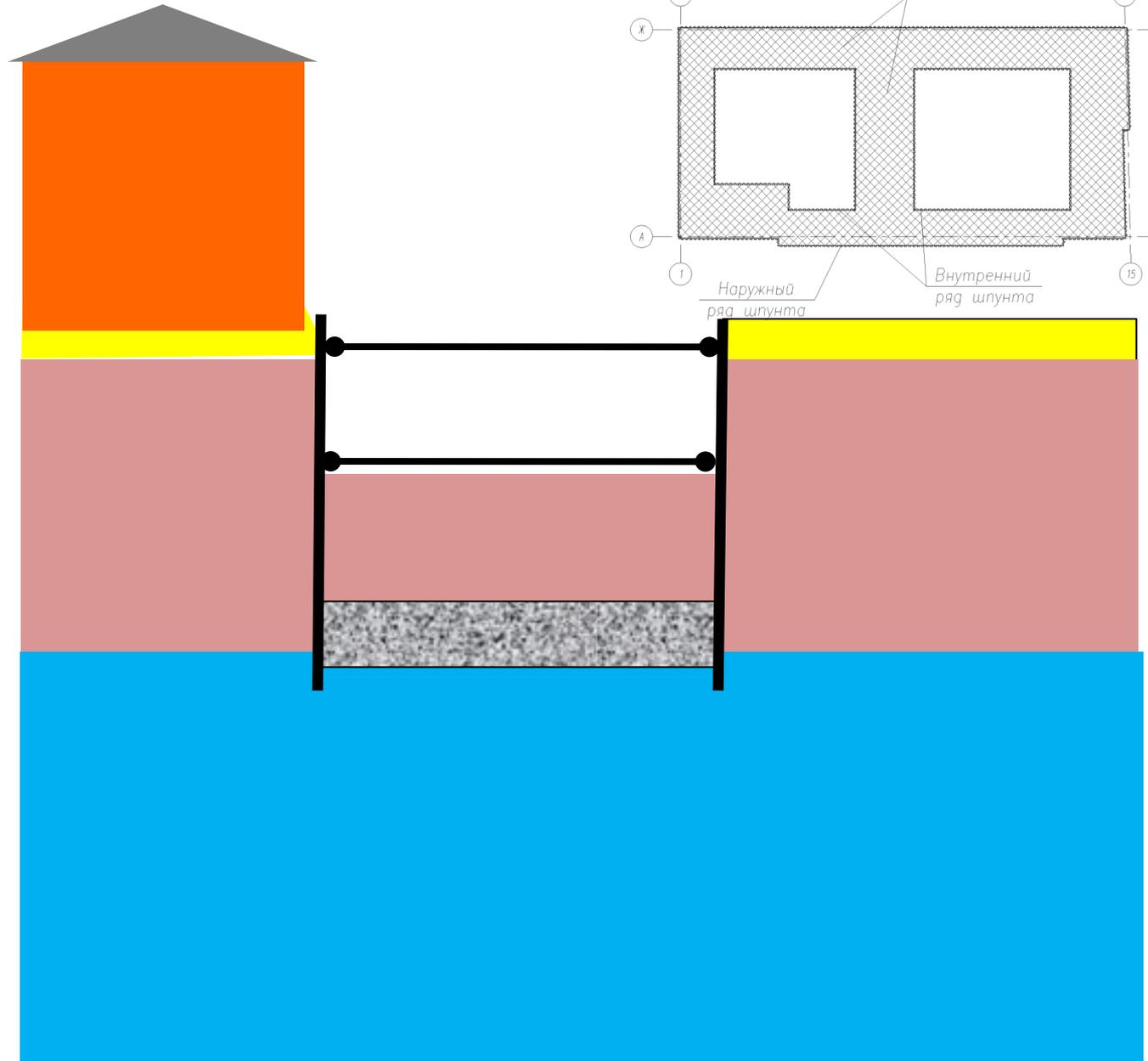
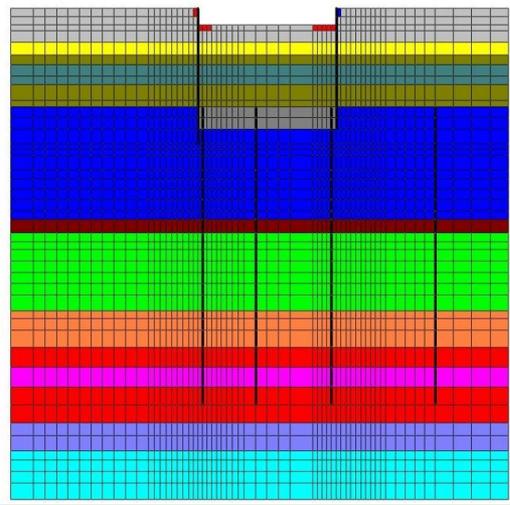
Максимальный изгибающий момент 913 кН·м/м



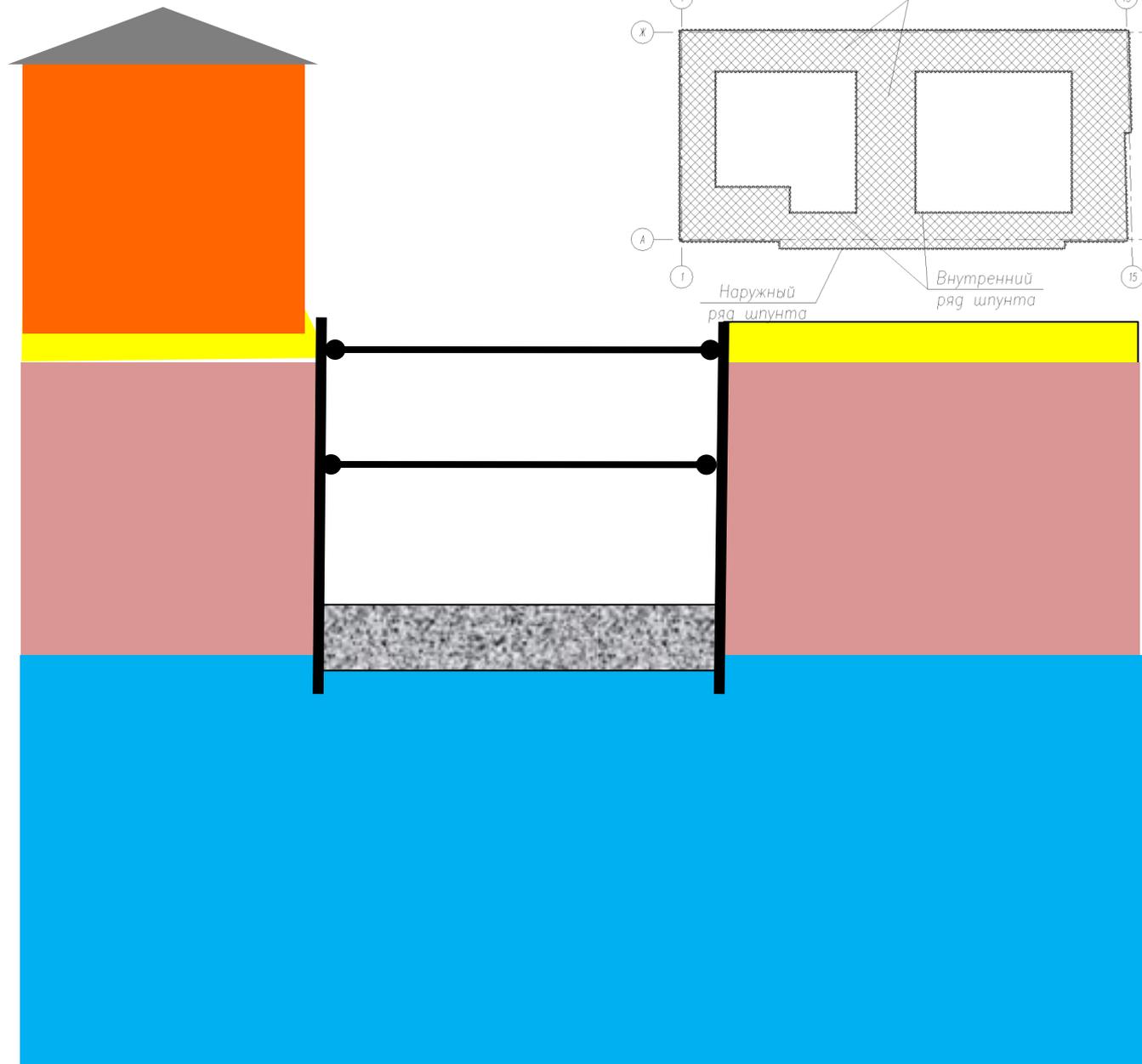
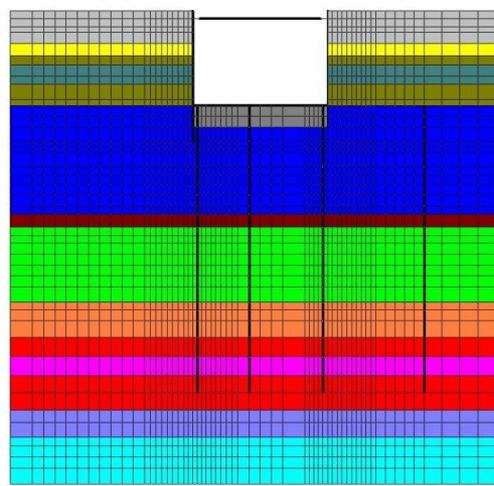
Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»



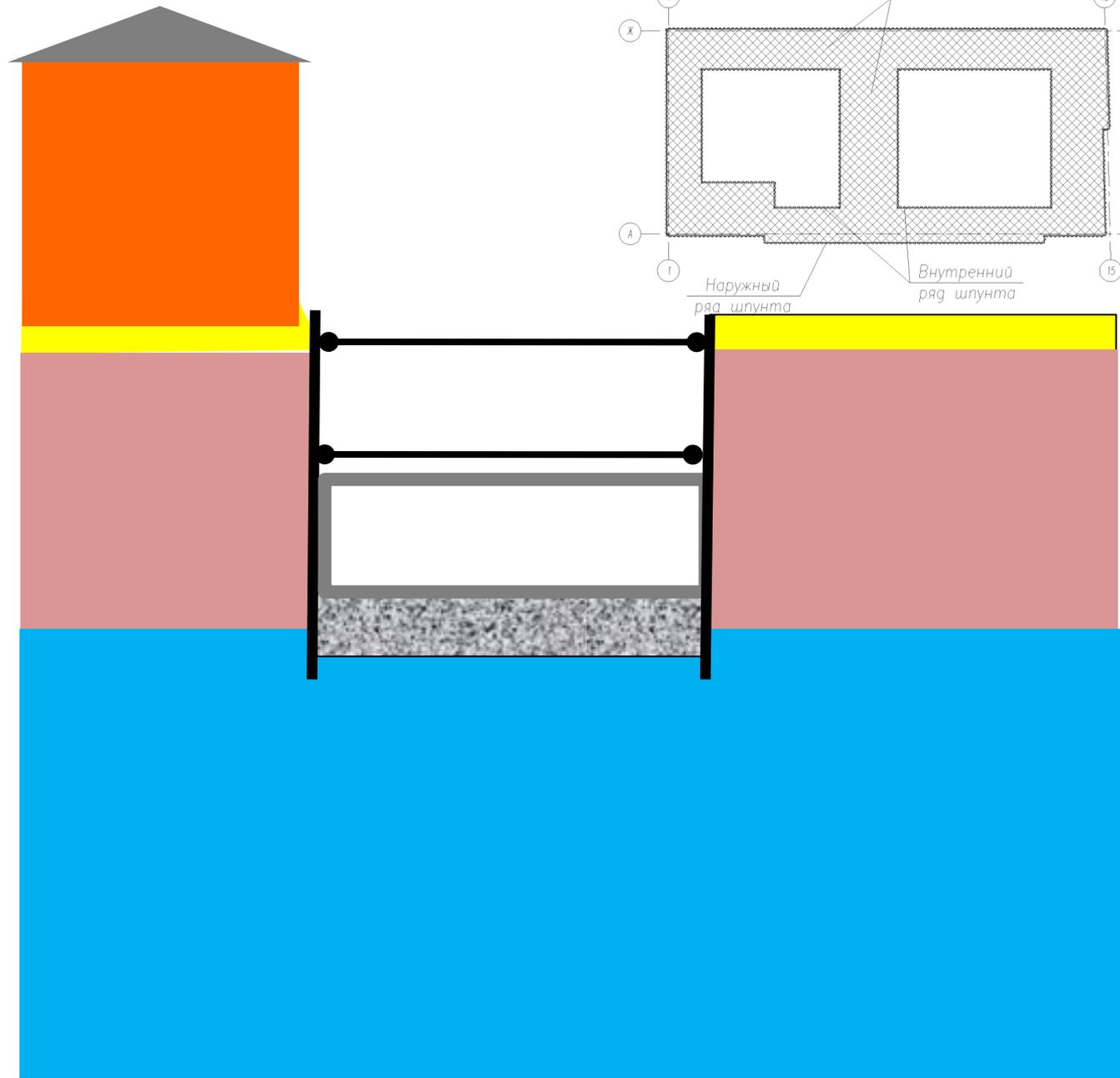
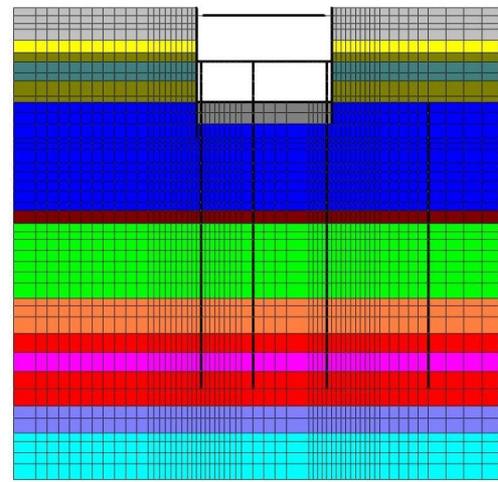
Последовательность  
устройства котлована  
способом «жесткого  
контура»



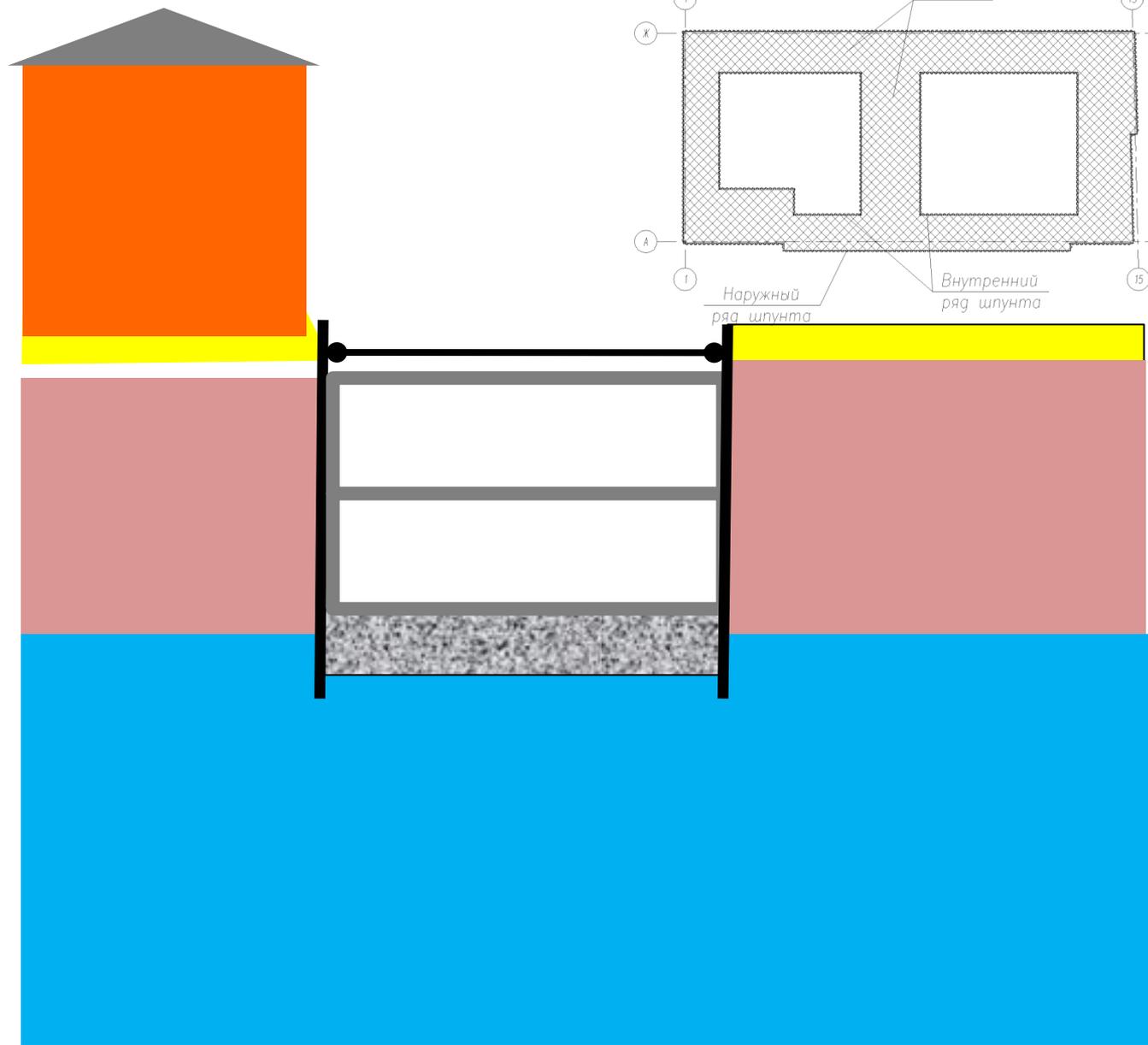
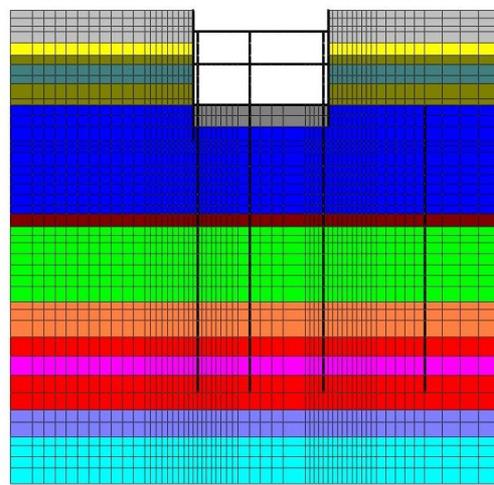
**Последовательность  
устройства котлована  
способом «жесткого  
контура»**



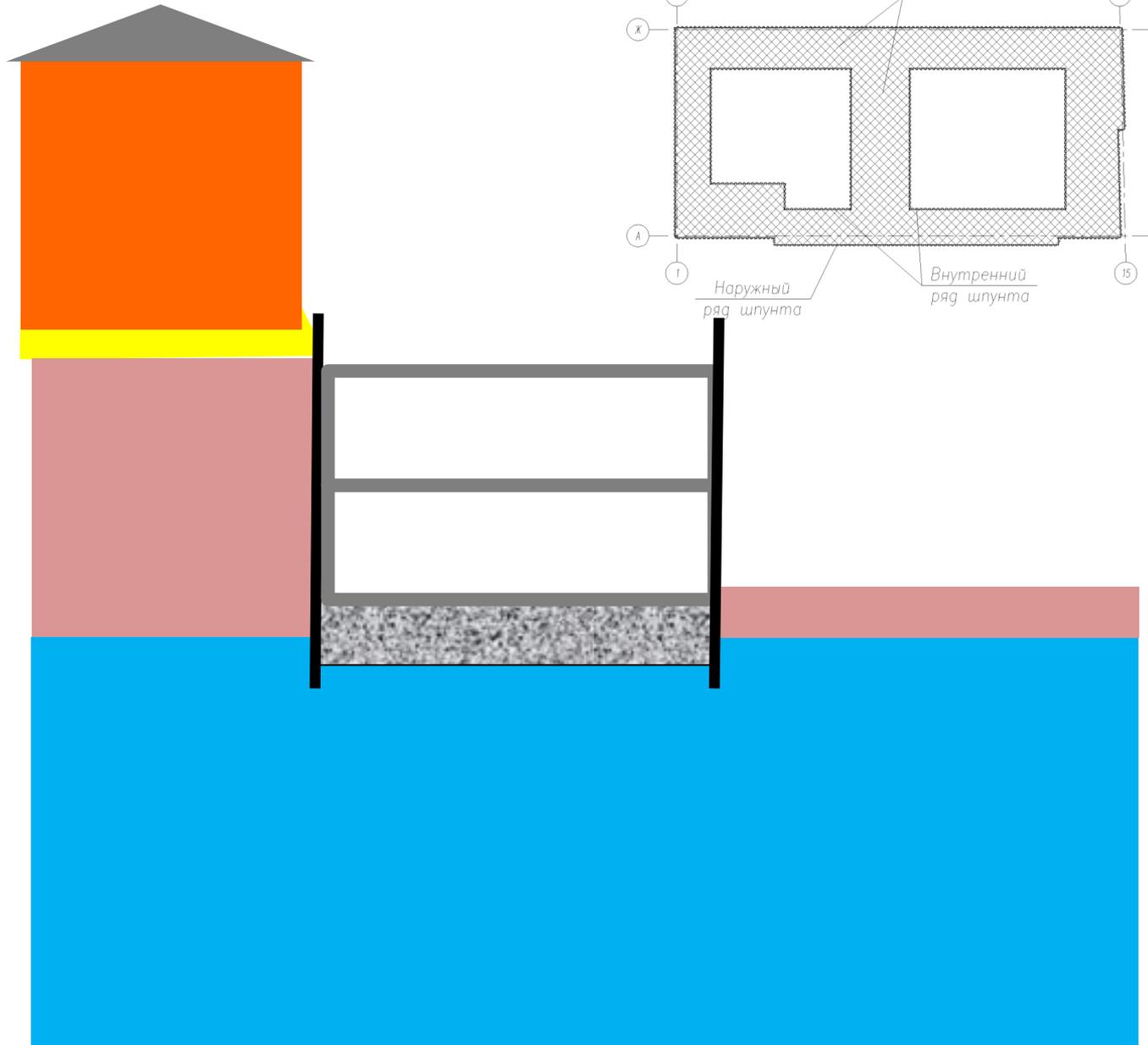
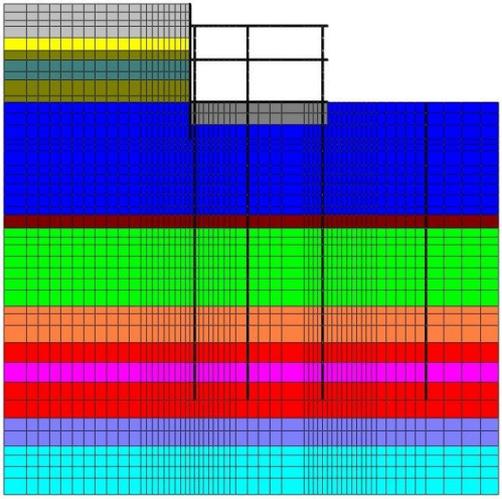
**Последовательность  
устройства котлована  
способом «жесткого  
контура»**



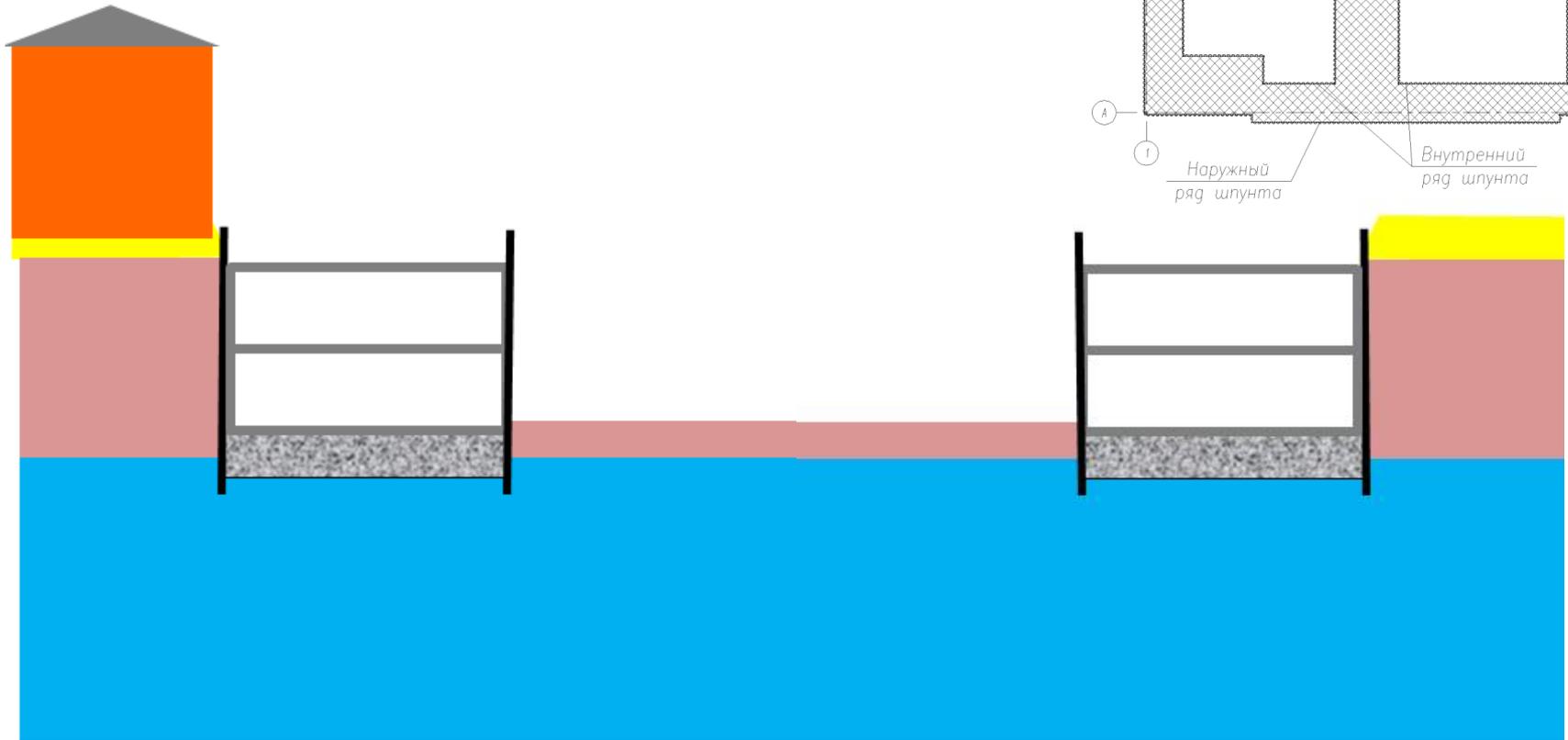
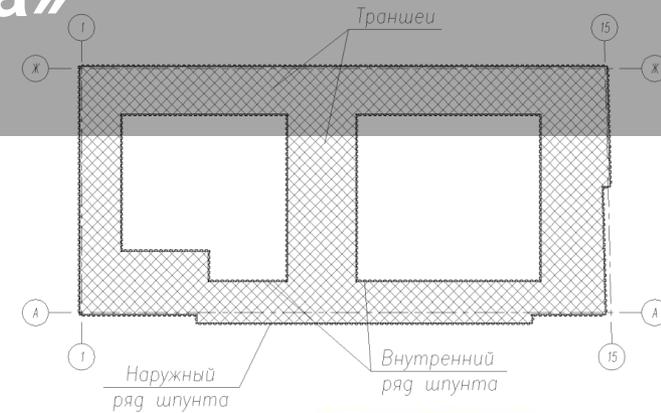
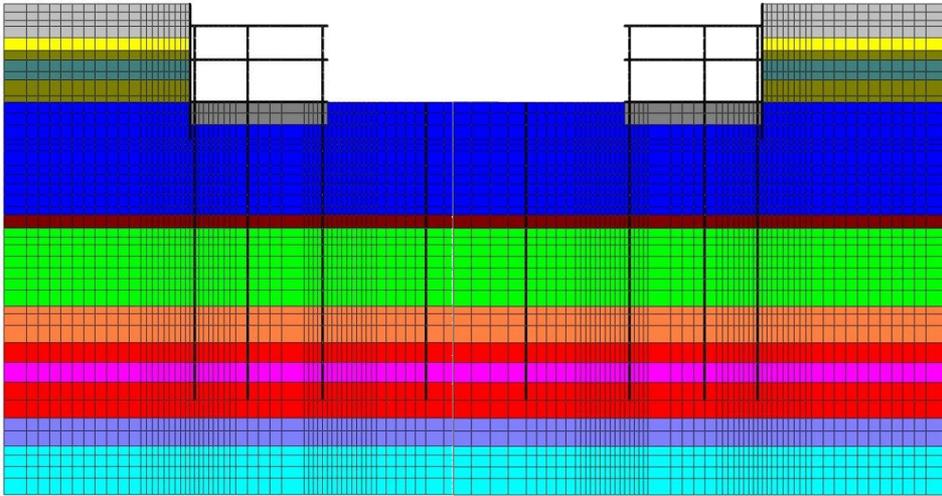
**Последовательность  
устройства котлована  
способом «жесткого  
контура»**



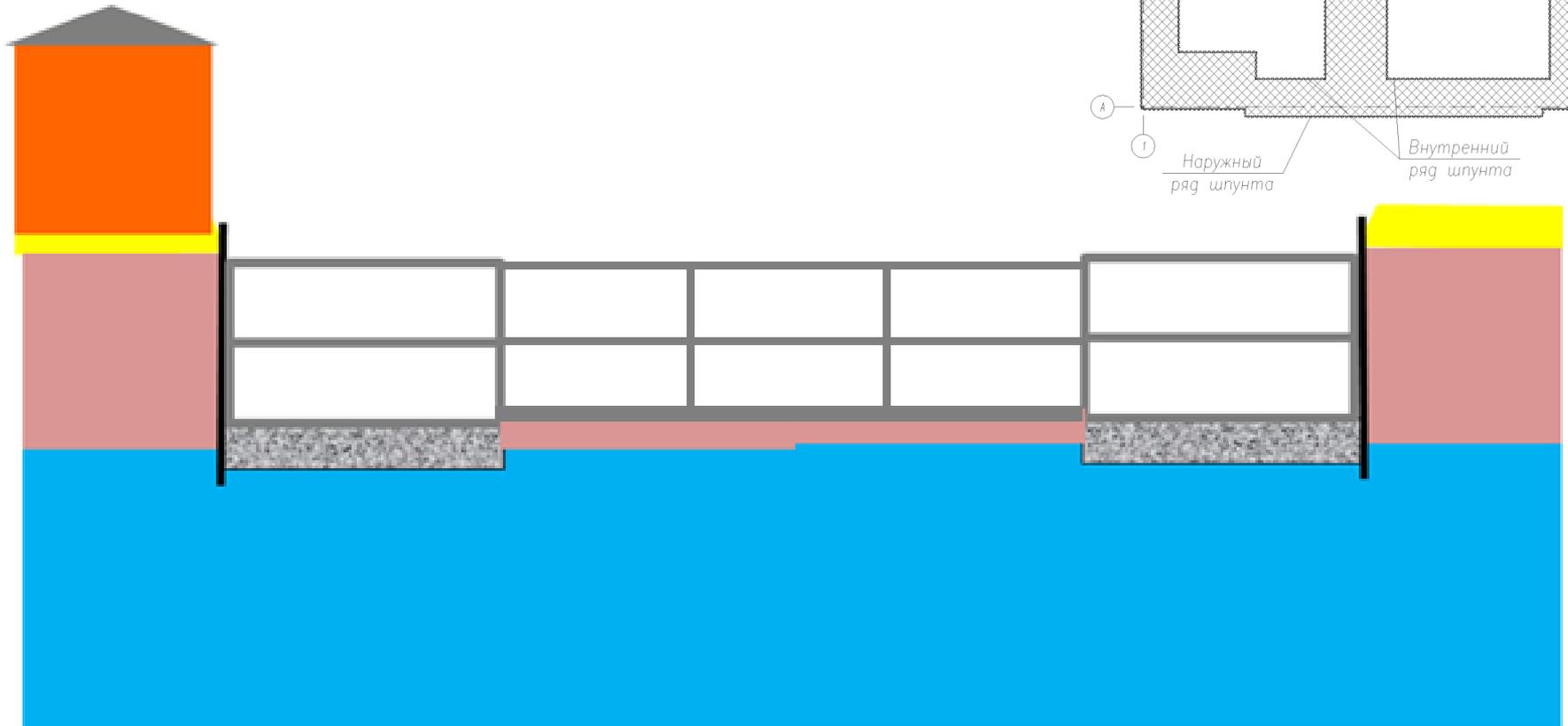
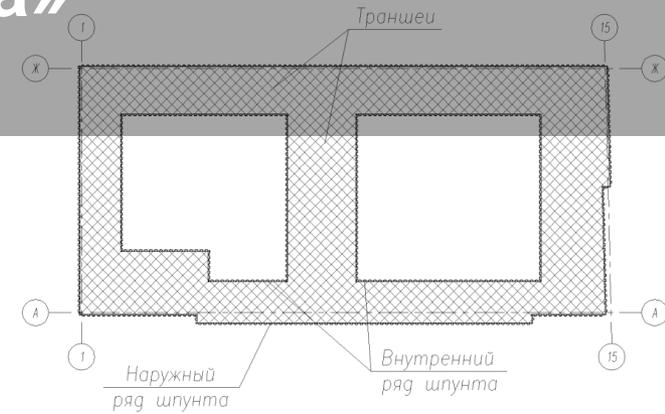
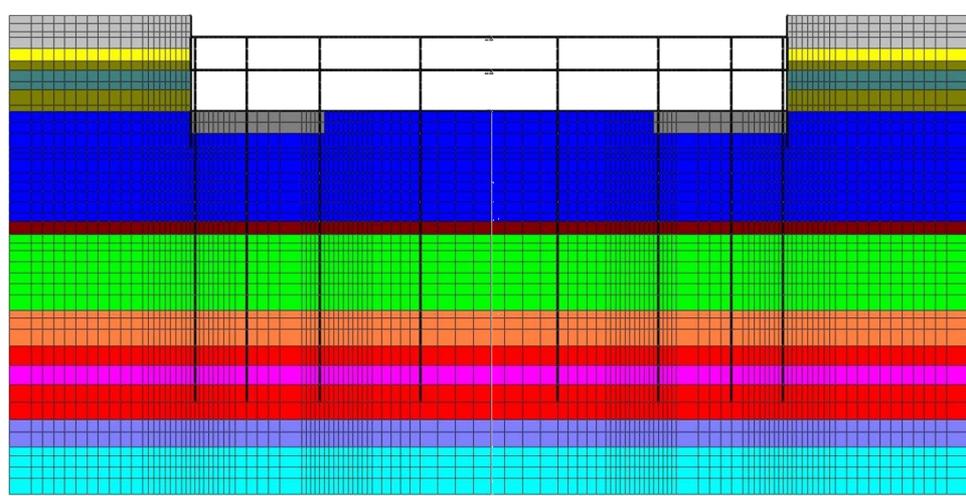
**Последовательность  
устройства котлована  
способом «жесткого  
контура»**



# Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»



# Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»





Вдавливание шпунтового  
ограждения длиной 12 м

# Устройство свай под защитой обсадной трубы и слоя закрепленного грунта по технологии Get grouting





Устройство распорного  
крепления поверху  
шпунта





**Откопка грунта ниже уровня распорного крепления внутри «жесткого контура»**



**Откопка  
внутри  
«жест-  
кого  
контура»**

Устройство 2-го  
уровня распорок  
«жесткого  
контура» у д.12  
по пер.Джамбула



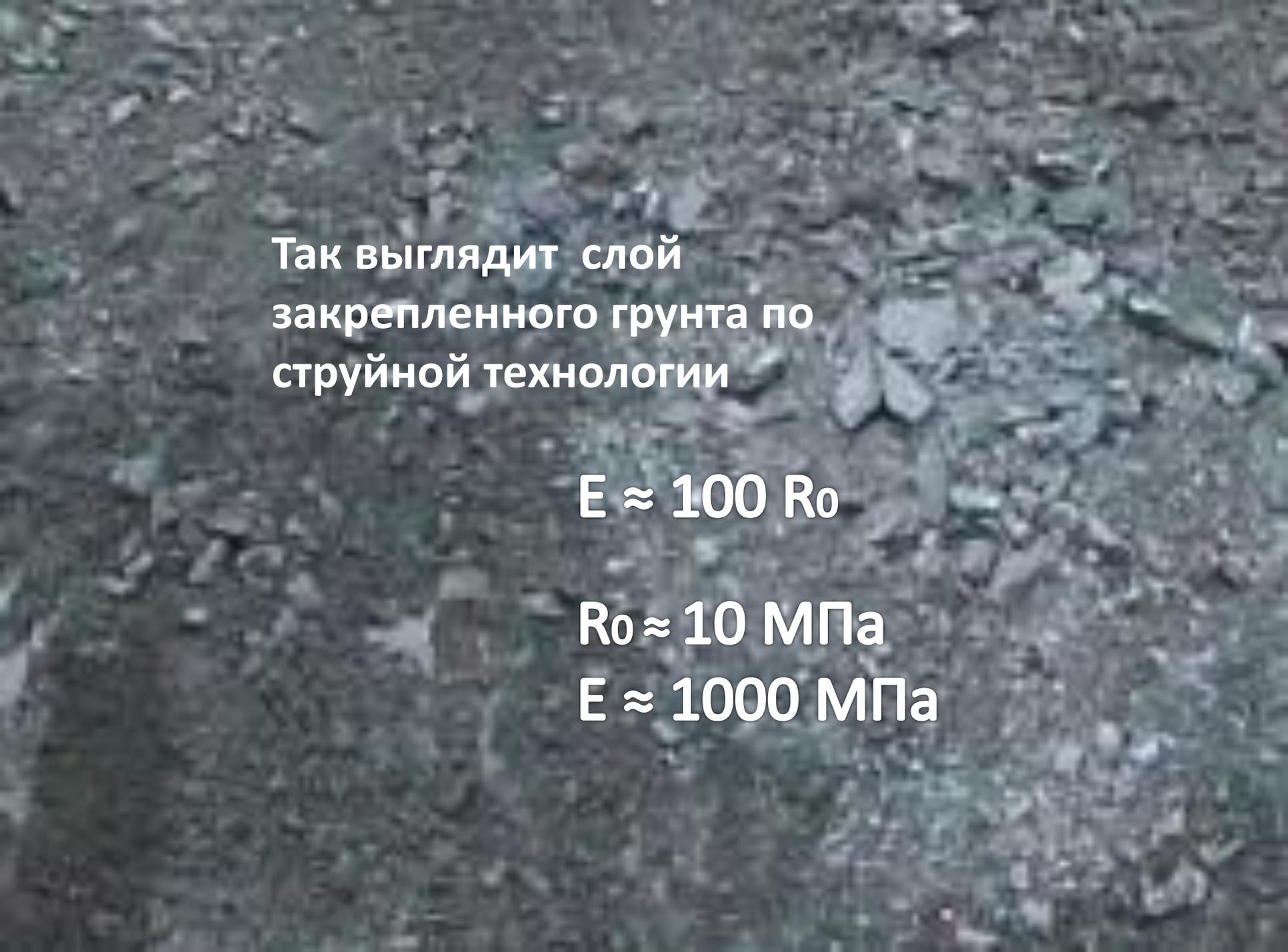


Откопка котлована внутри «жесткого контура» до проектной отметки





Так выглядит днище котлована из грунта, закрепленного по технологии Get grouting



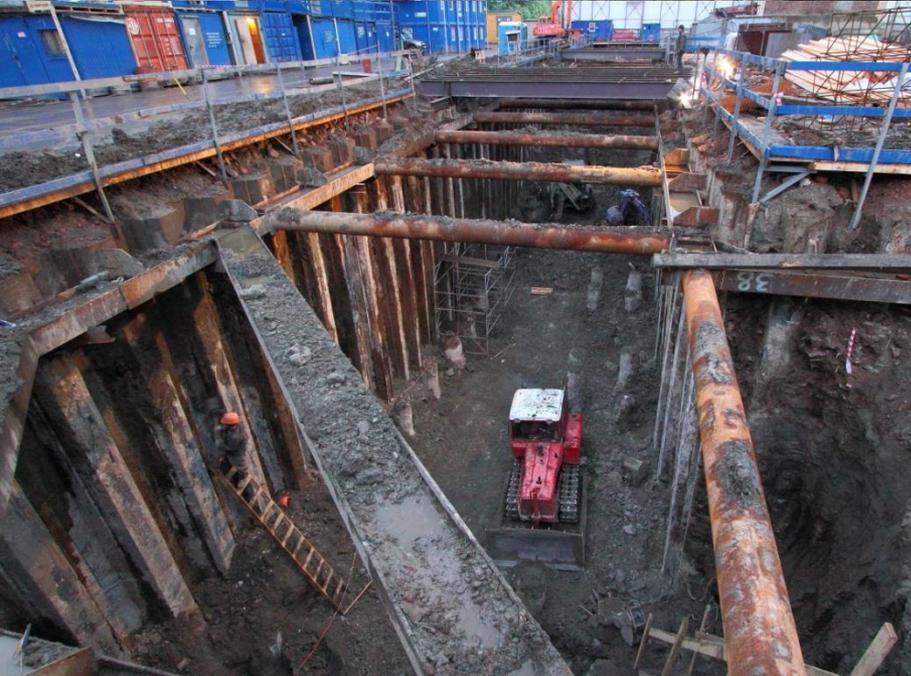
Так выглядит слой  
закрепленного грунта по  
струйной технологии

$$E \approx 100 R_0$$

$$R_0 \approx 10 \text{ МПа}$$

$$E \approx 1000 \text{ МПа}$$

# Устройства железобетонной плиты днища «жесткого контура»





**Устройство железобетонной плиты  
днища «жесткого контура» у д.12 по  
пер. Джамбула**



**Устройства железобетонной плиты дна  
«жесткого контура»**



Устройство железобетонной  
плиты днища «жесткого  
контура»





Устройство «моста» для проезда техники на «остров»



Работа строительной техники на «острове»



Возведение железобетонных конструкций внутри «жесткого контура»





## Возведение железобетонных конструкций внутри «жесткого контура»





Откопка грунта внутри «островов» и виброизвлечение шпунта



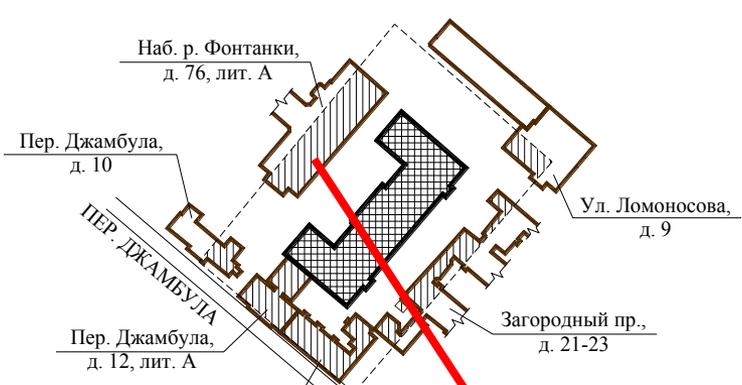


## Откопка грунта внутри «островов» и виброизвлечение шпунта

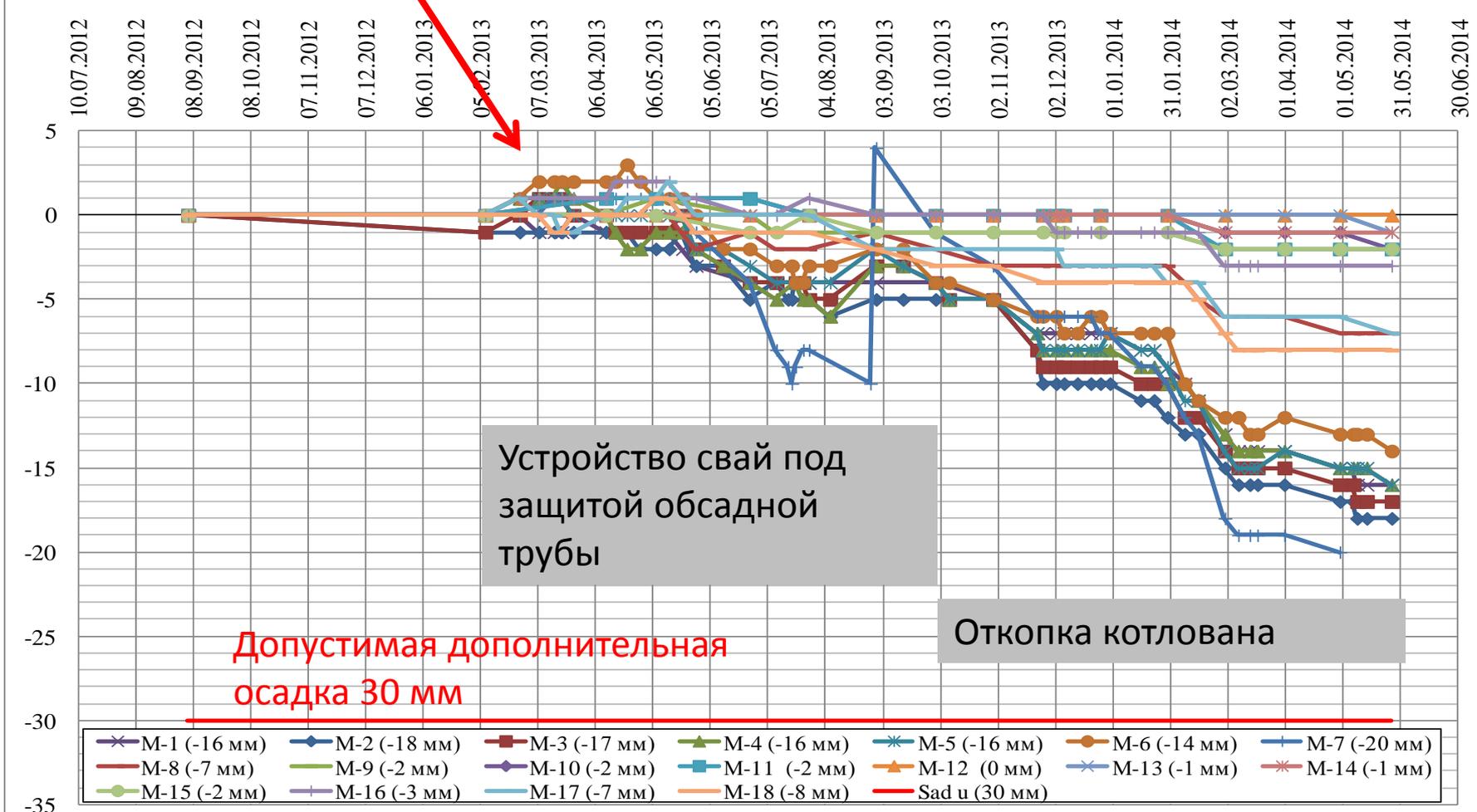


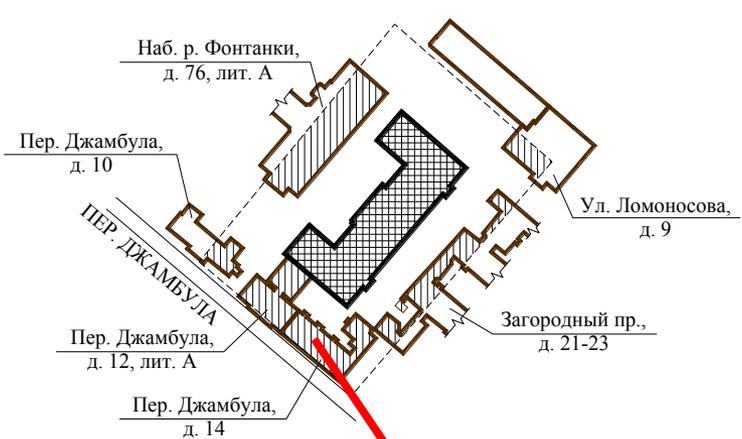


Струйная технология позволяет реализовать эффективный способ устройства подземного сооружения в плотной городской застройке с коротким шпунтовым ограждением (способ «жесткий контур»)

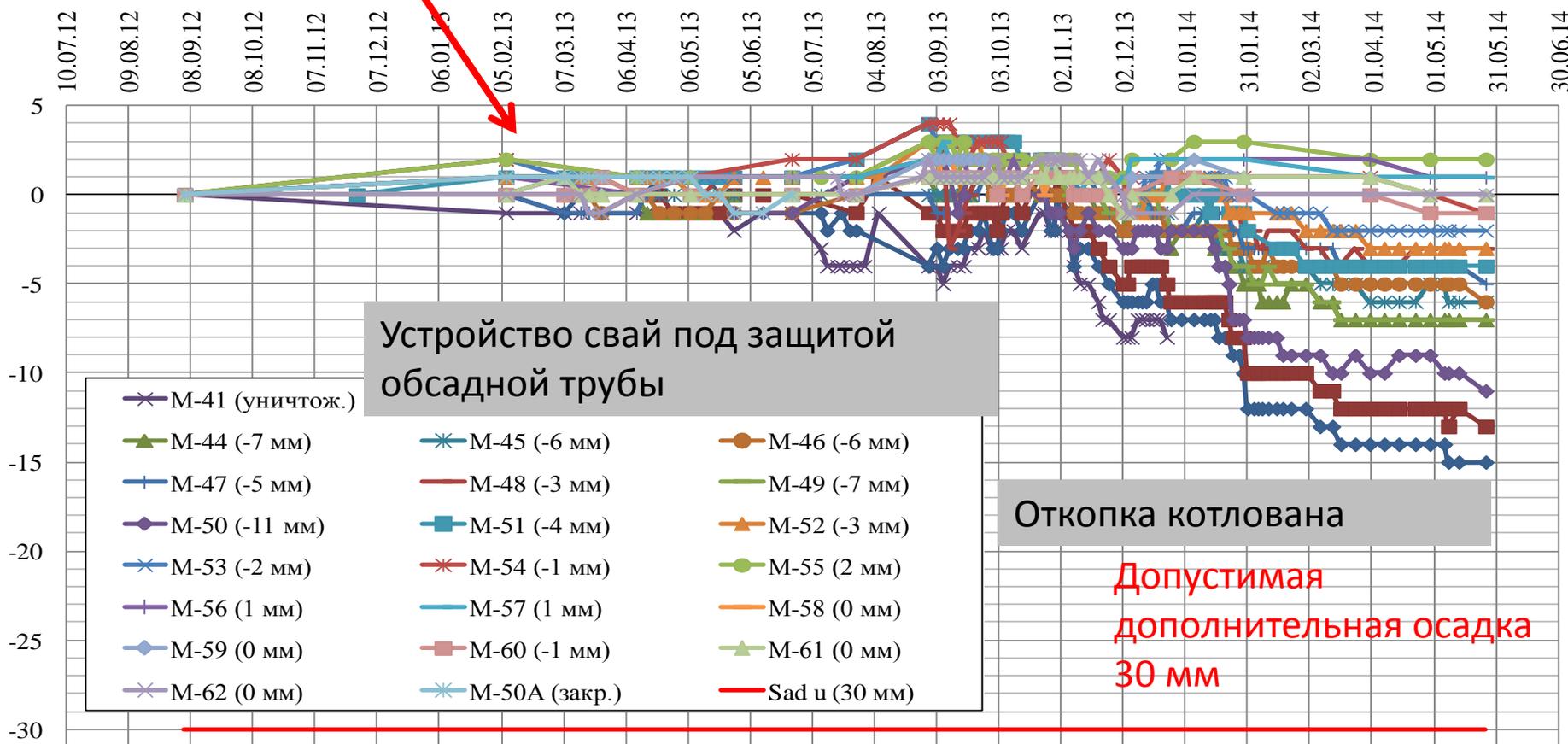


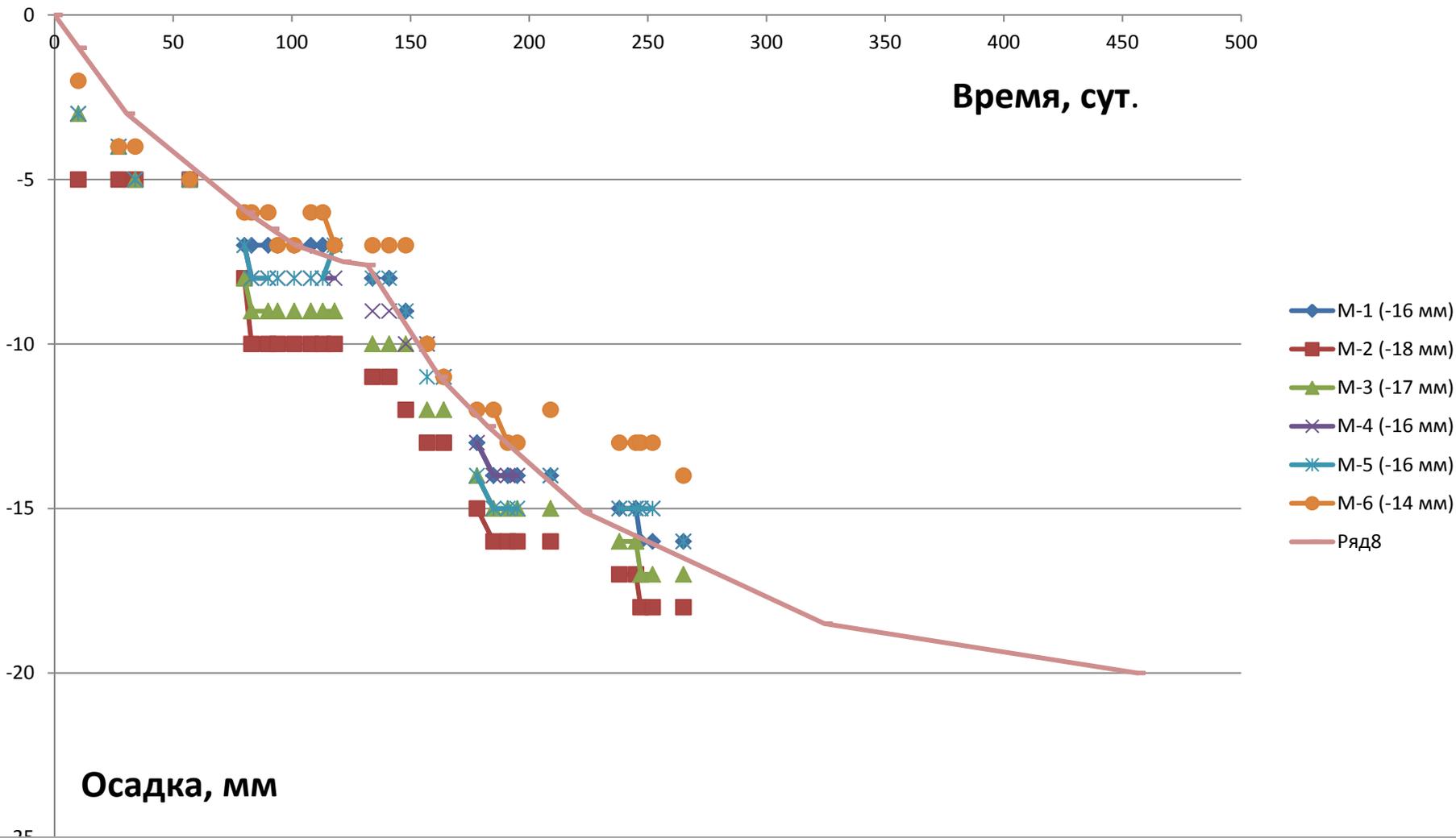
**Марки, расположенные на здании по адресу: наб. р. Фонтанки, д. 76, лит. А**





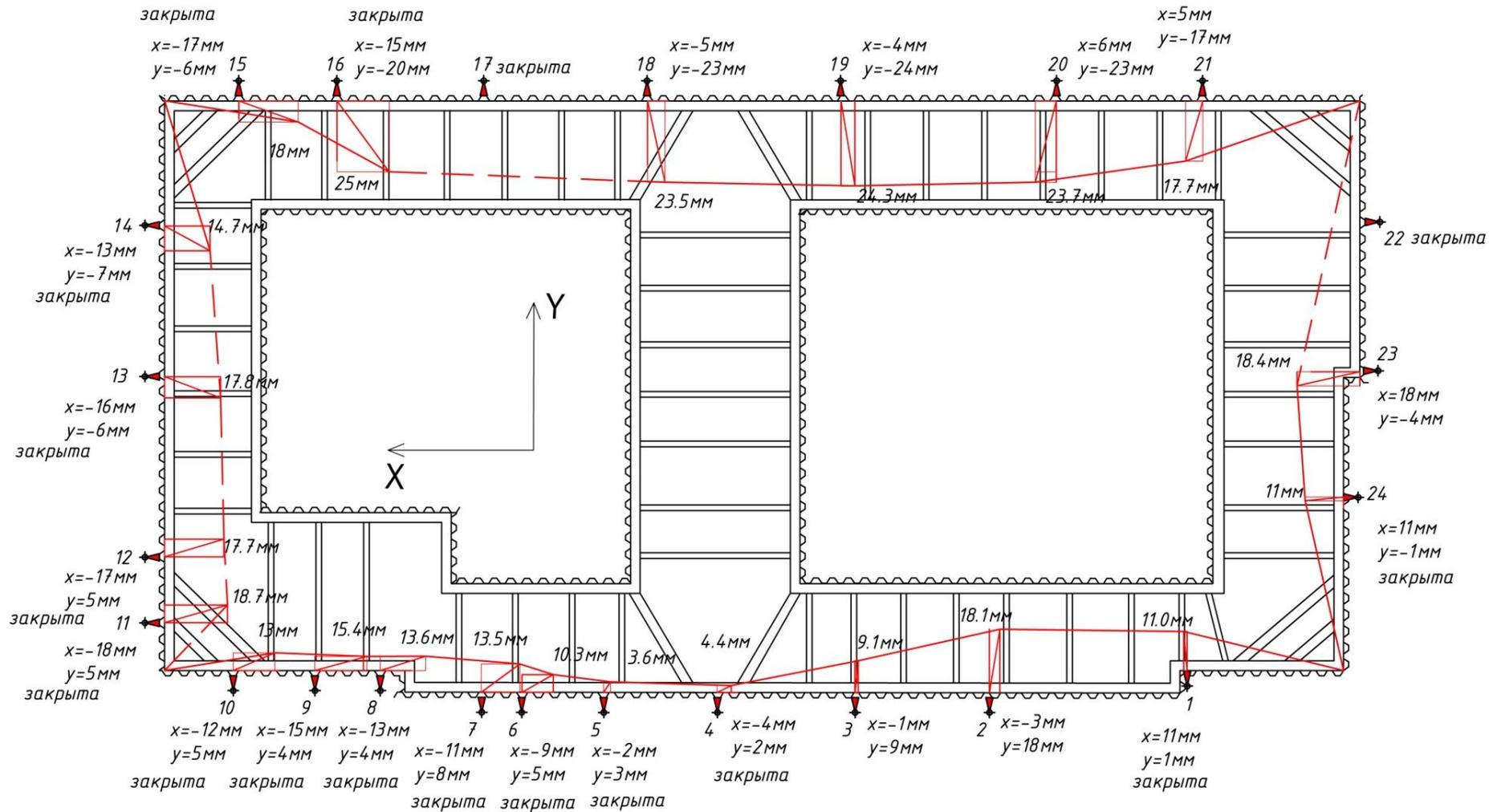
**Марки, расположенные на здании по адресу: пер. Джамбула, д. 14**



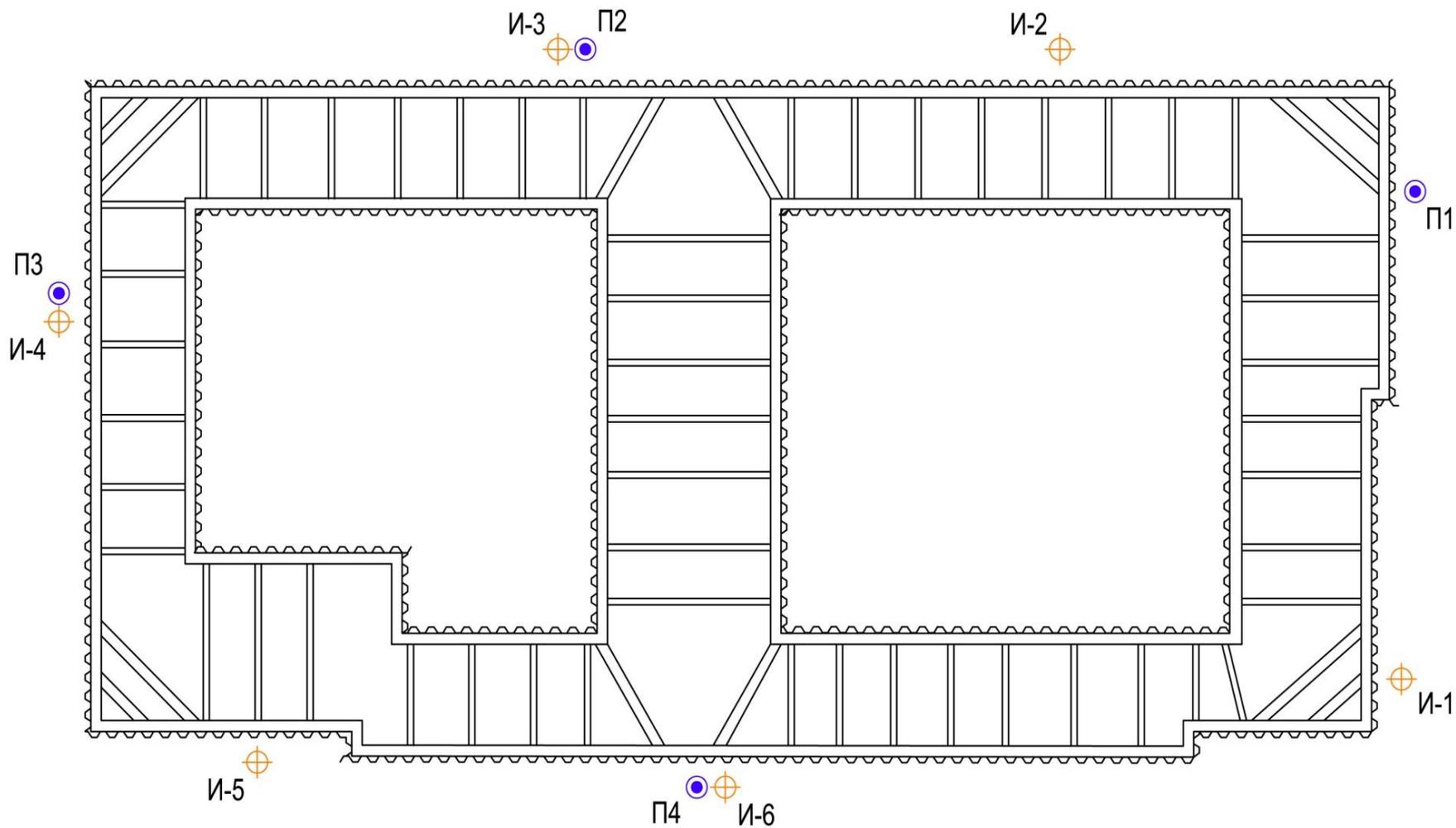


Сопоставление результатов расчета и натуральных наблюдений за развитием осадков во времени

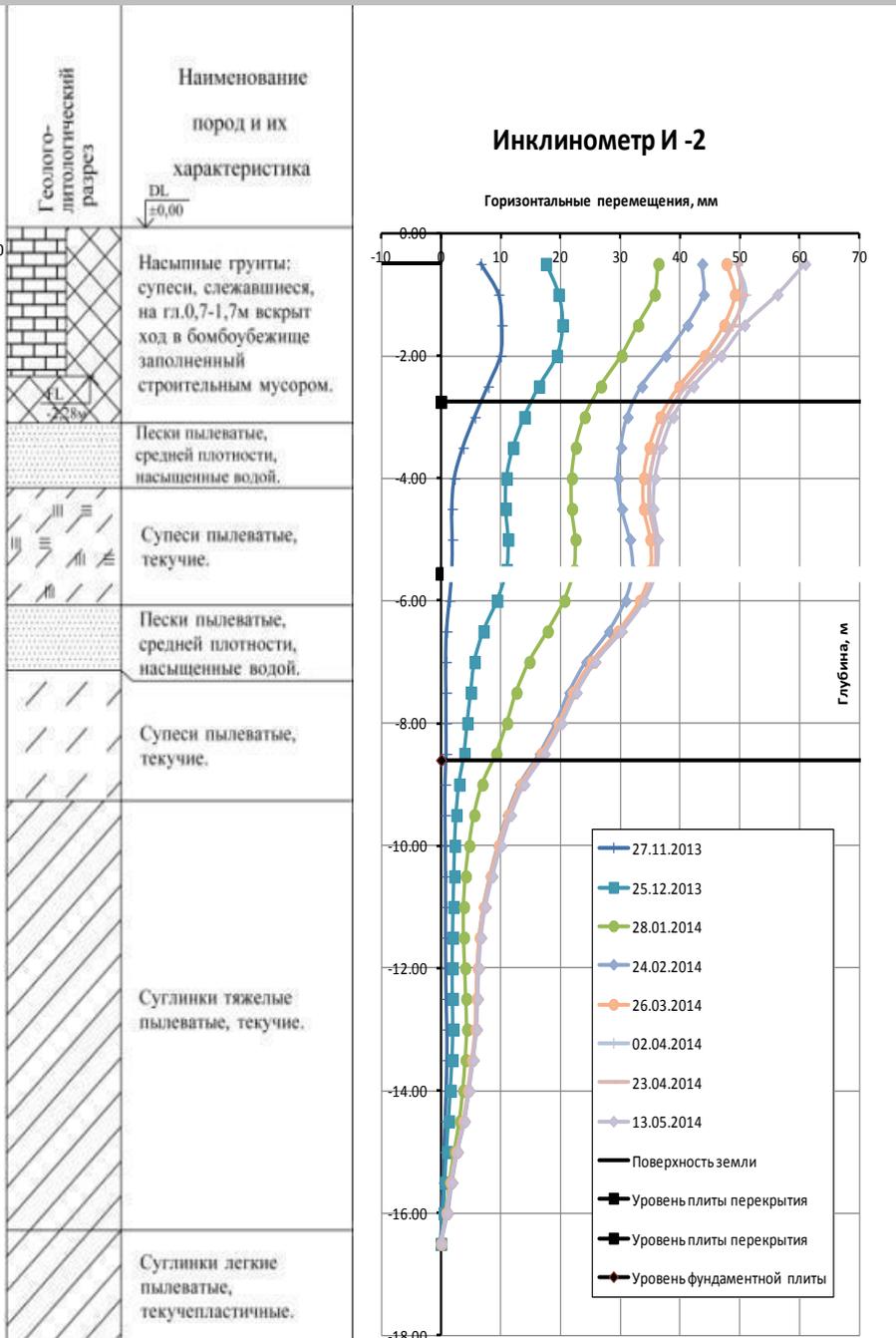
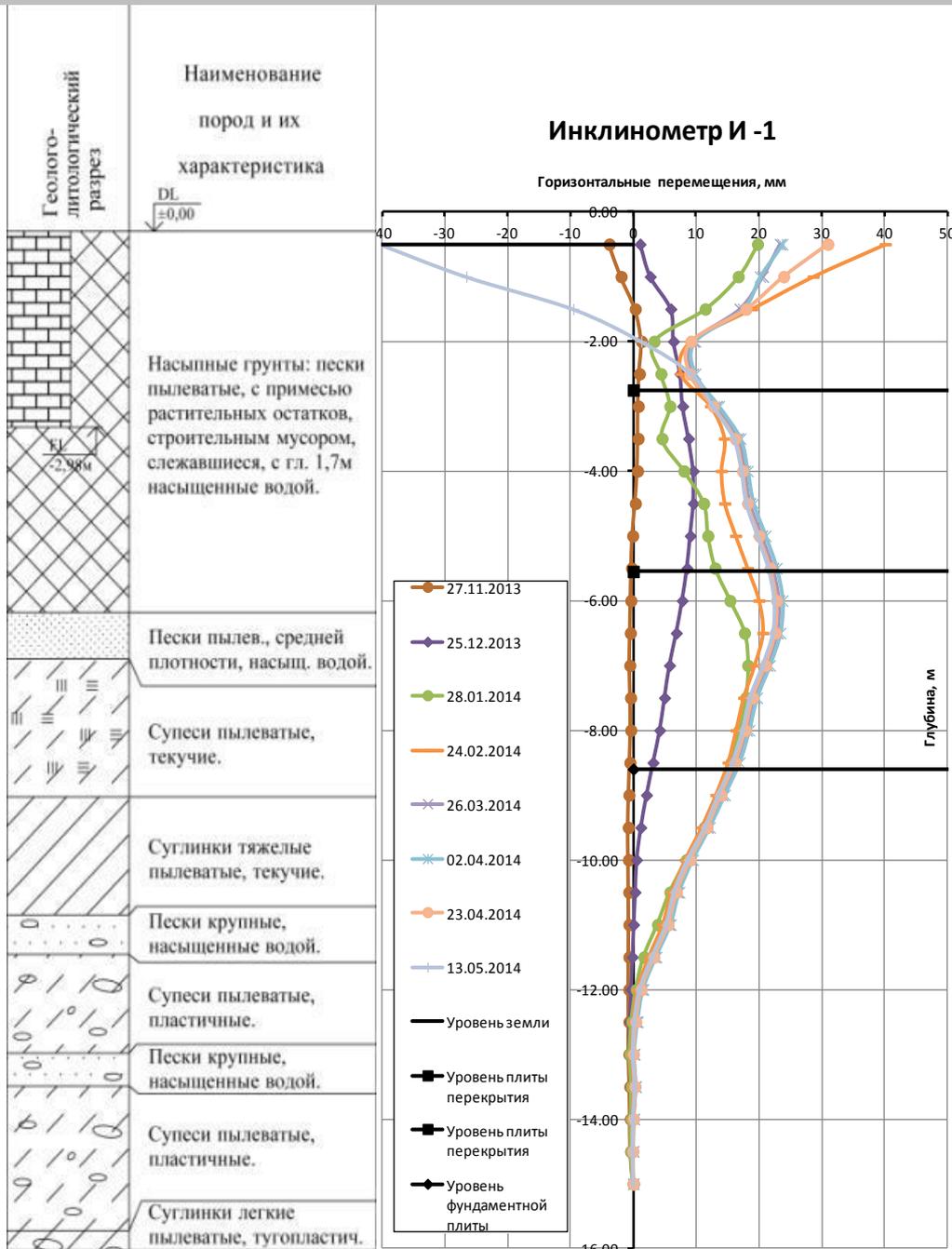
# Эпюра смещения верха шпунта по светотражающим маркам на 13.05.2014г.



# Схема расположения инклинометров и пьезометров



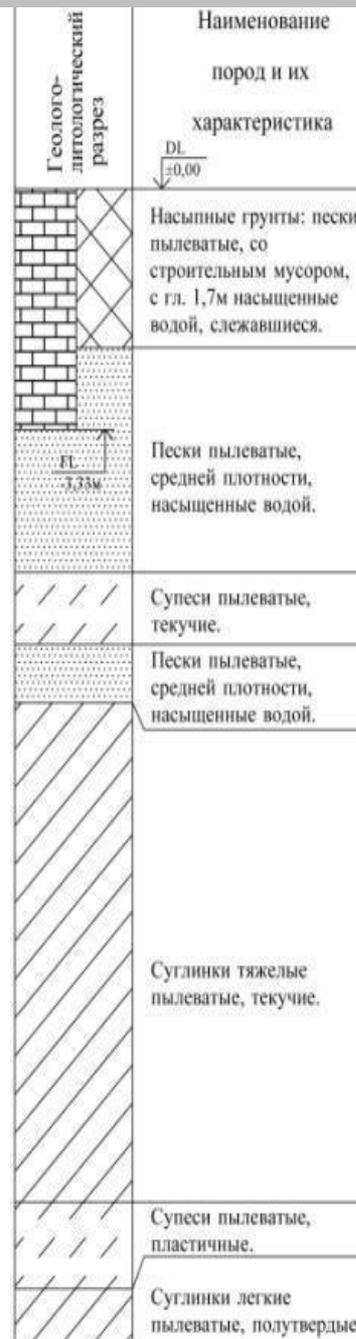
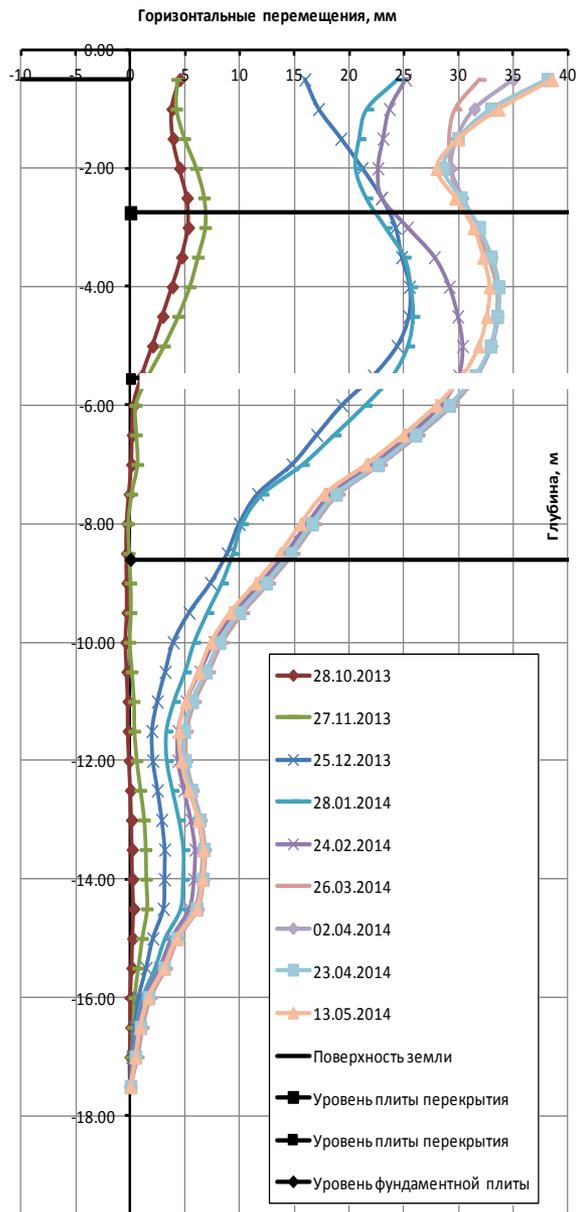
# Результаты измерений горизонтальных смещений по инклинометрам



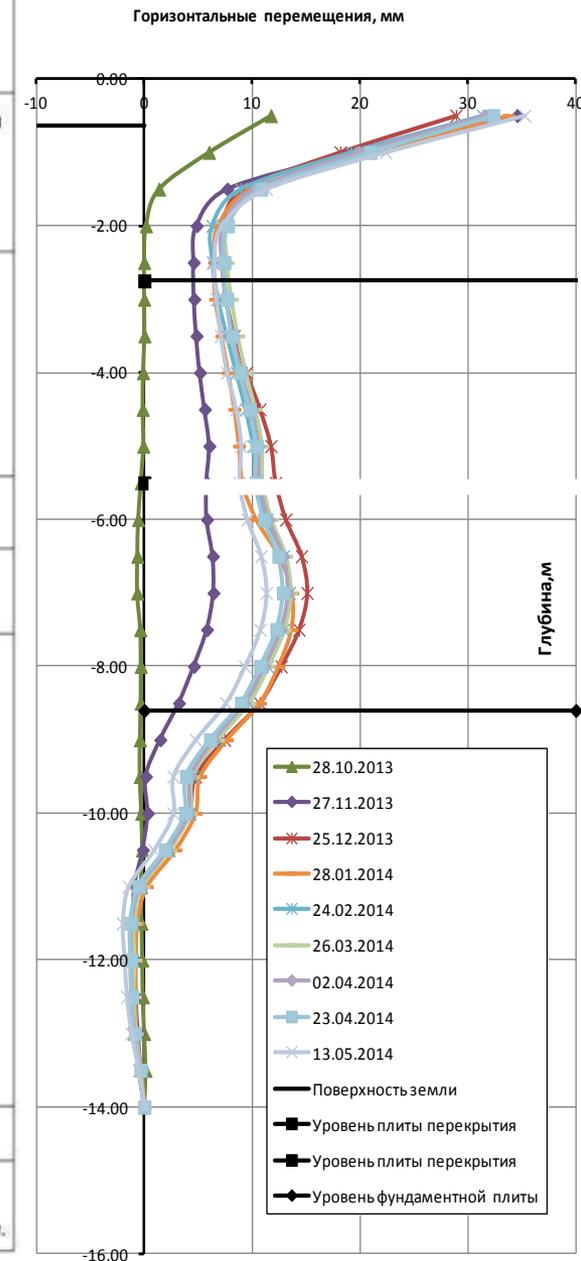
# Результаты измерений горизонтальных смещений по инклинометрам



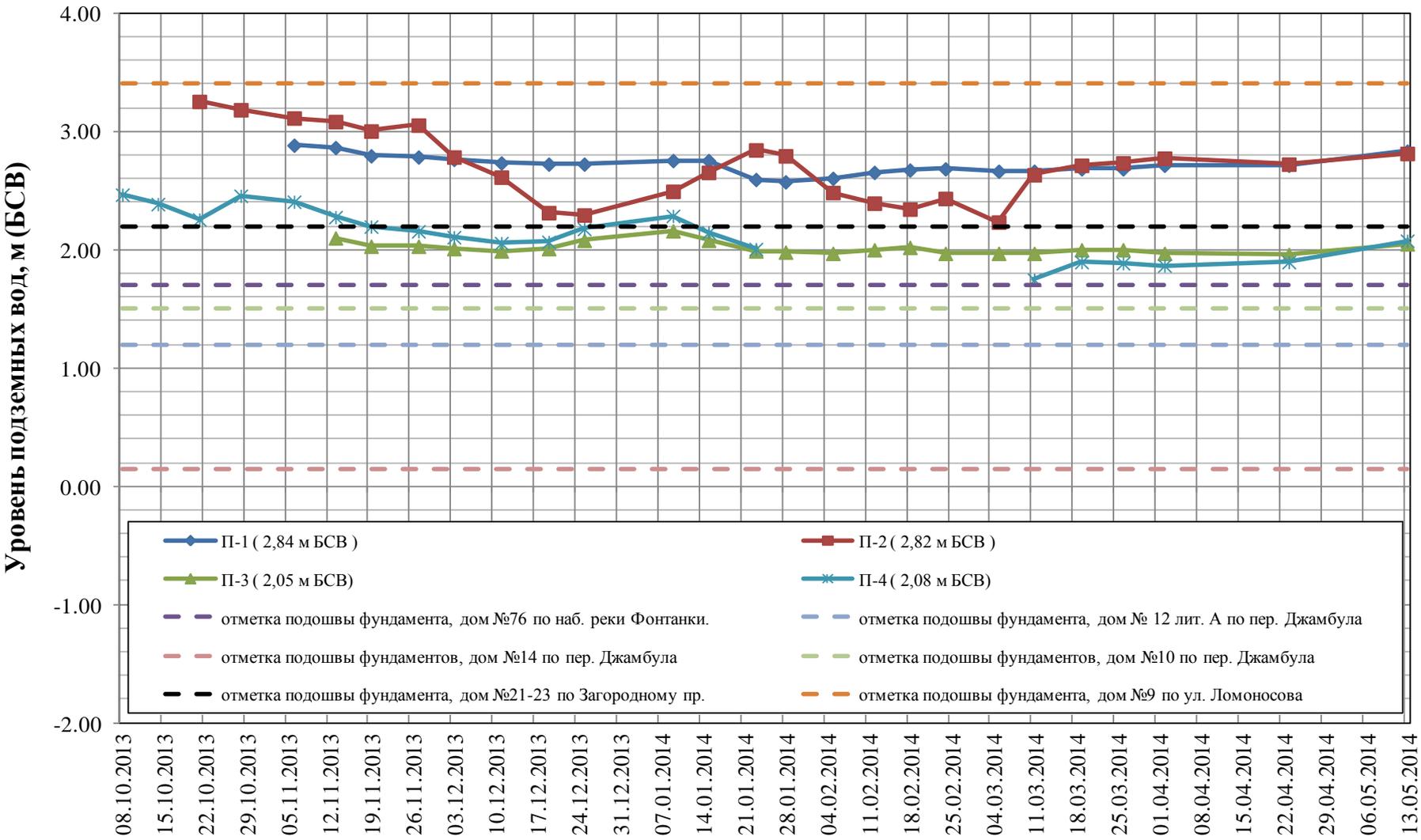
## Инклинометр И -3



## Инклинометр И -5



# Положение уровня грунтовых вод по пьезометрам









































Развитие подземного  
пространства  
исторического мегаполиса

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1

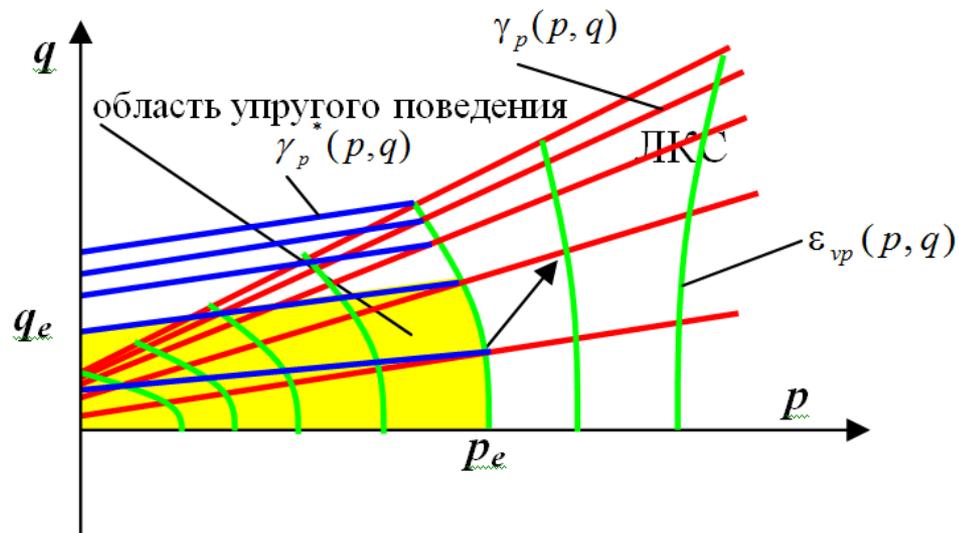
iee cloud

integrated engineering environment

Принципиально новая программная среда с использованием новейших облачных технологий для решения инженерных и научных задач.

**3D моделирование**

**1. Физическая модель взаимодействия основания и сооружения**



# GEORECONSTRUCTION



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

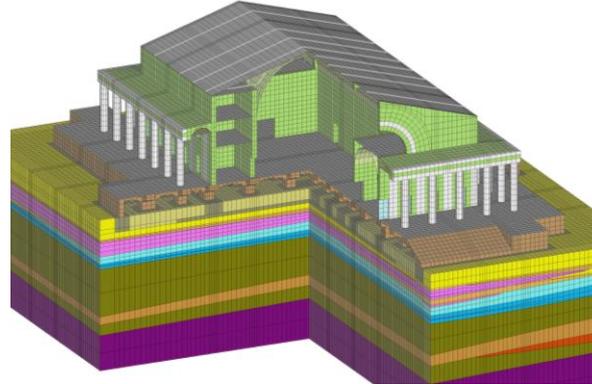
ОБСЛЕДОВАНИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

ГЕОТЕХНИКА

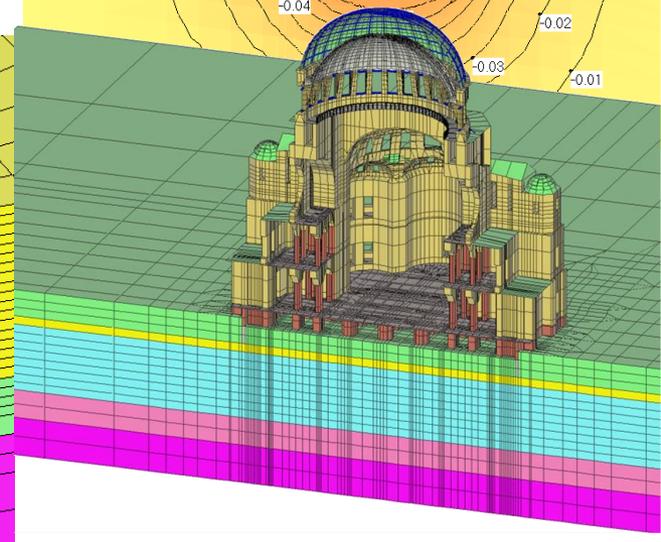
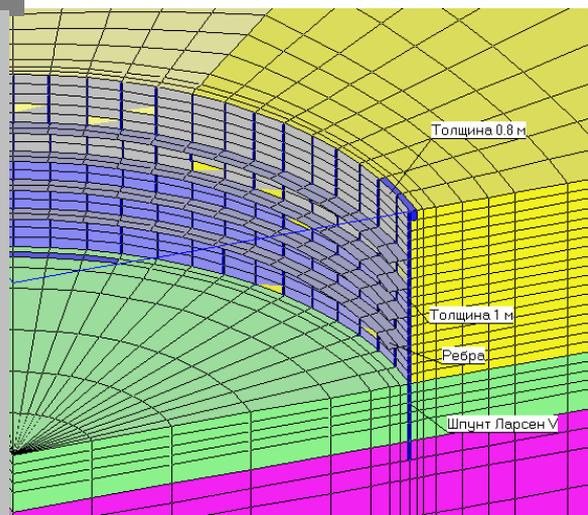
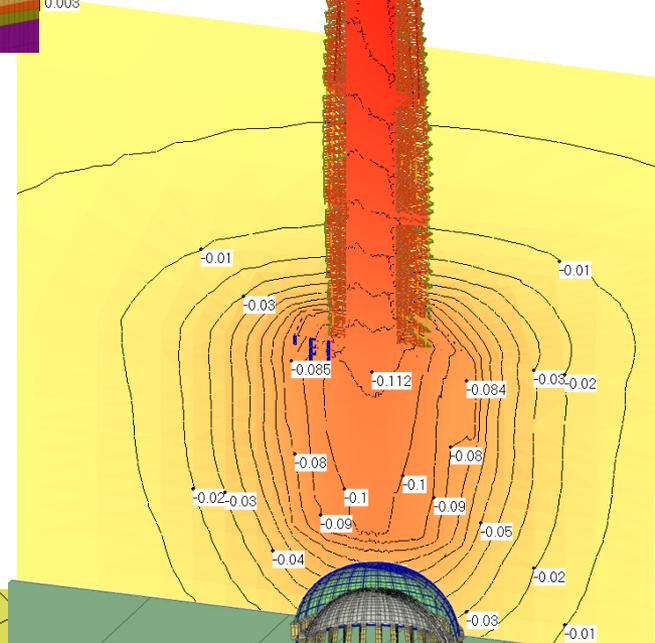
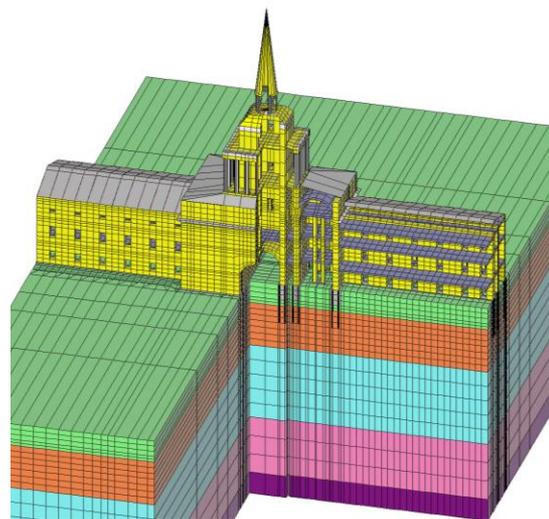
Программный комплекс для  
совместных расчетов  
оснований и сооружений  
FEM models (2002)  
IEE Clouds (2014)

## 2. Расчеты и проектирование

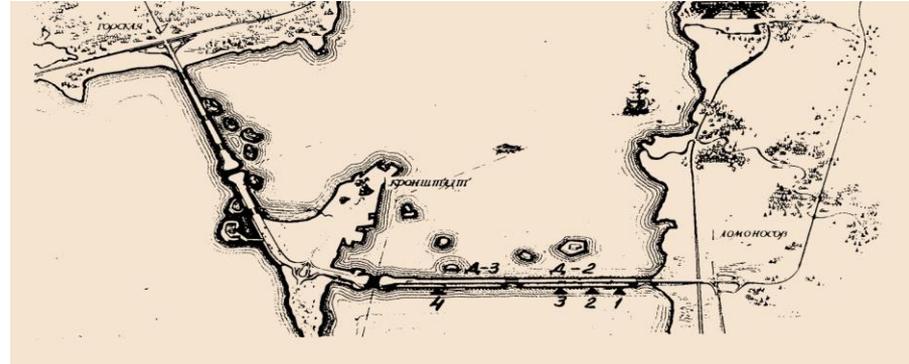
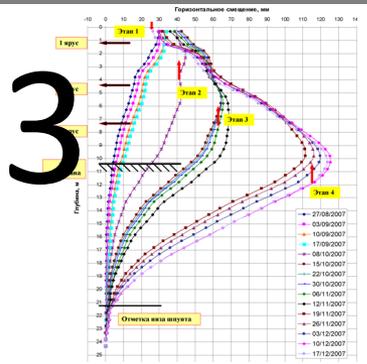
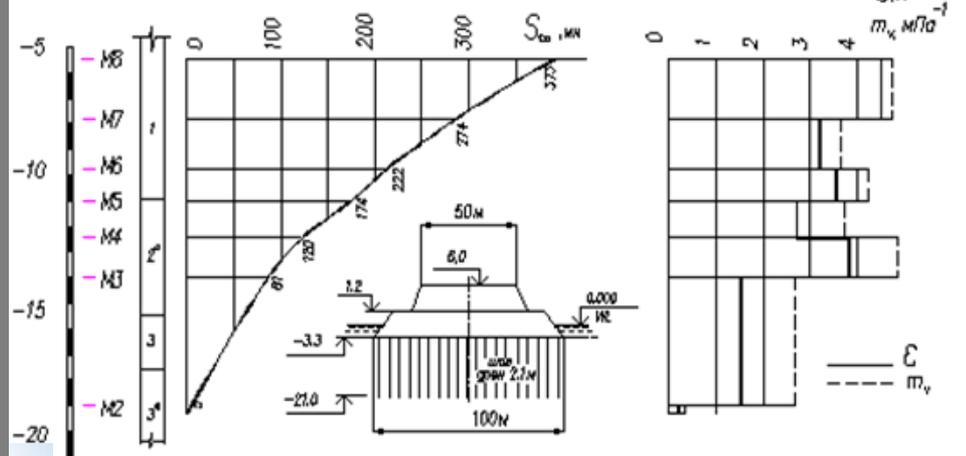


г изолиний 0.01  
-0.228  
-0.151  
-0.074  
0.003

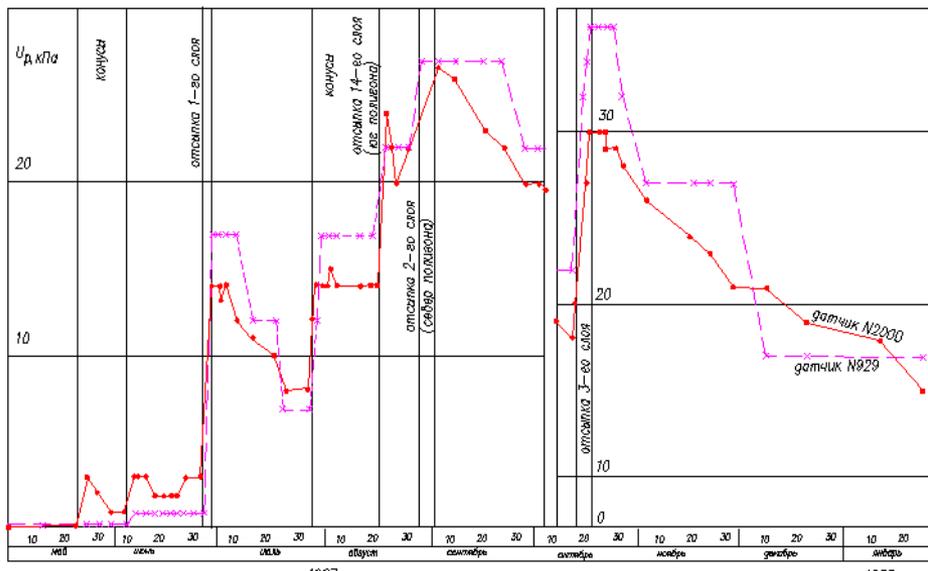
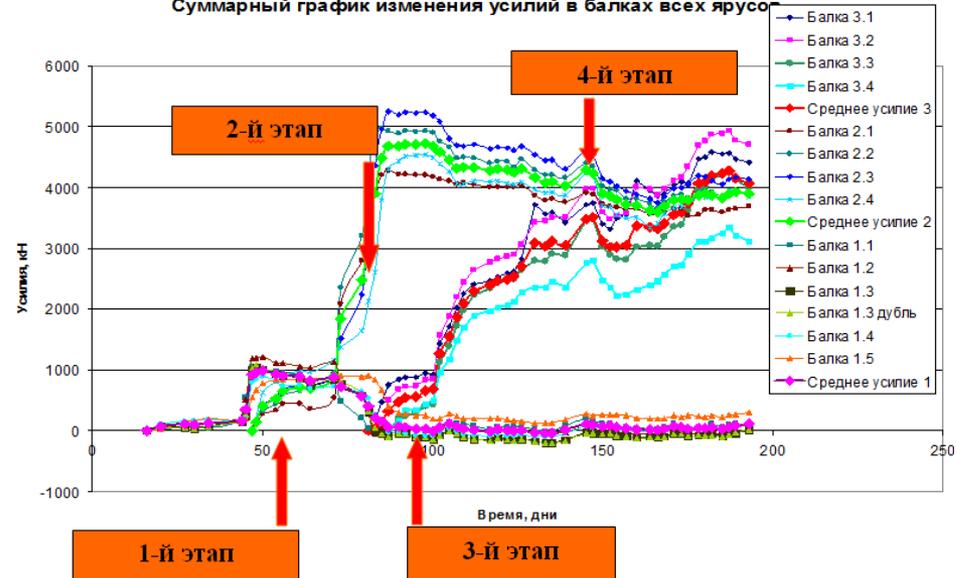
# 2



# 3. Мониторинг напряженно-деформированного состояния основания и сооружения



Суммарный график изменения усилий в балках всех ярусов



# Что дает собственный SOFT + проект + мониторинг?

## Интерактивный процесс совершенствования проектных решений

1. Физическая модель взаимодействия основания и сооружения

2. Расчеты и проектирование

3. Геотехнический мониторинг: натурные измерения

Внесение корректив в проектное решение и модель (при необходимости)

Обратный расчетный анализ результатов натурных измерений

Результат – экономически эффективные и надежные инновационные проектные решения

# Научно-техническое сопровождение: фундаментальные исследования в области геотехники

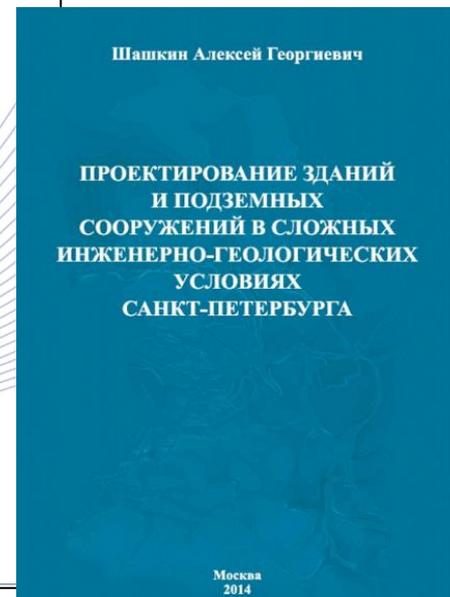
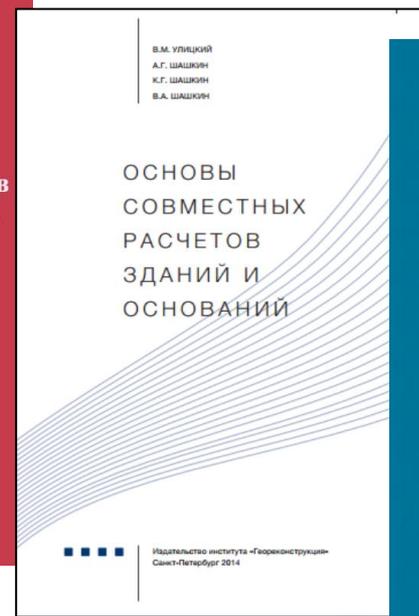
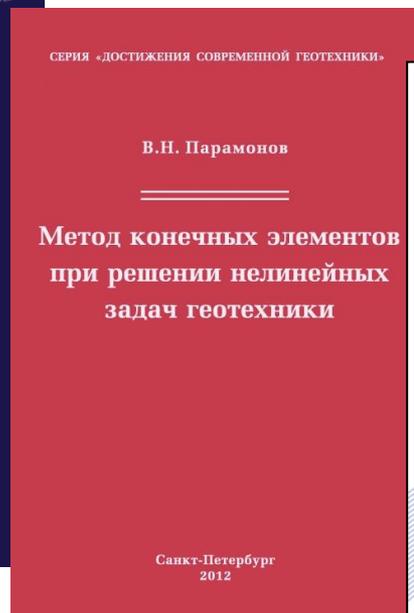
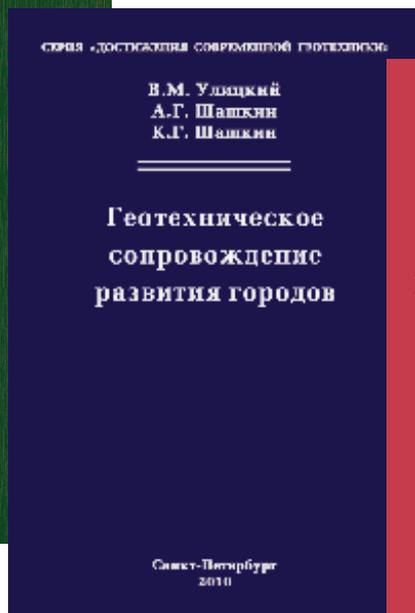
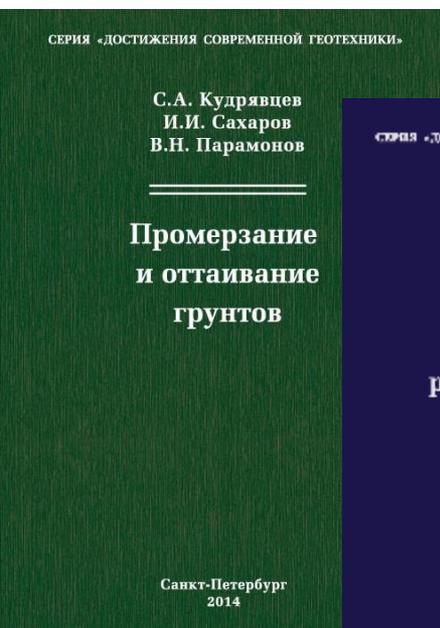
Институт «Геореконструкция» - научно-исследовательский и проектно-исследовательский институт.

В институте работают 5 докторов наук, 12 кандидатов наук, лауреат государственной премии РФ по науке и технике.

Основная специализация института «Геореконструкция» – уникальные и технически сложные сооружения в сложных инженерно-геологических условиях.

Базовая кафедра – Оснований и фундаментов ПГУПС Императора Александра I.

Институт имеет научно-исследовательские филиалы в Тюмени и Хабаровске.



# Научно-техническое сопровождение: международная деятельность

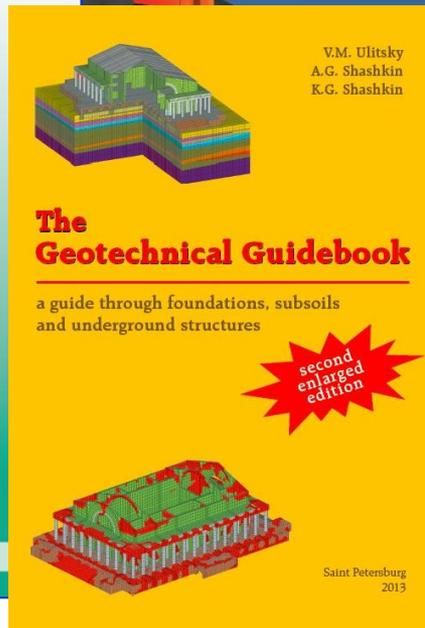
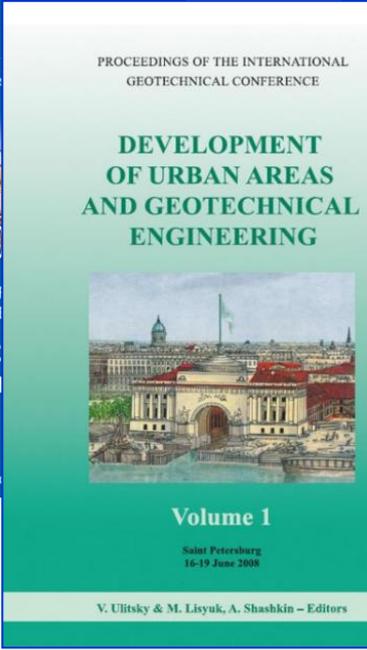
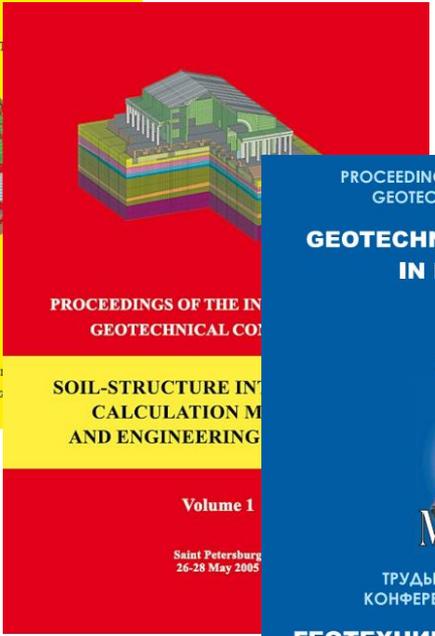
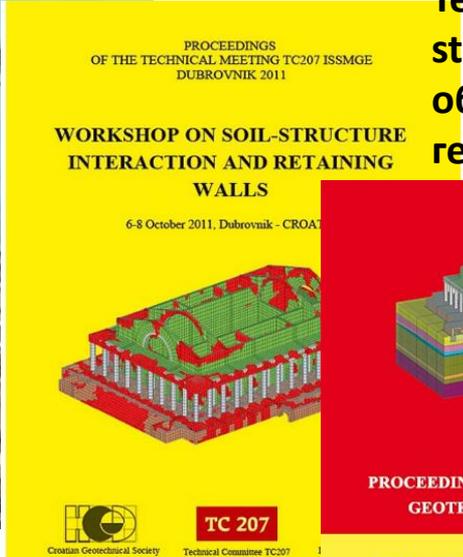
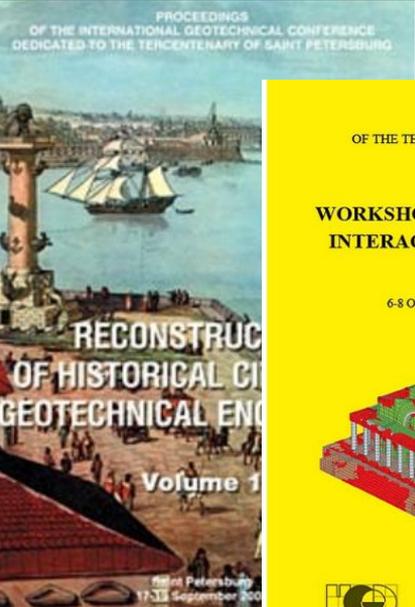
城市改建  
岩土工程监测学  
(勘察、计算、施工、监测)

Институт создал и возглавляет  
Технический Комитет TC-207 «Soil-  
structure Interaction» Международного  
общества по механике грунтов и  
геотехнике ISSMGE.

(俄) B.M.乌力茨基 A.T.沙什金 著  
赵庆才 陶广秋 译  
赵纪生 审校

**TC 207** INTERNATIONAL CONFERENCE  
ISSMGE ON GEOTECHNICAL ENGINEERING

Soil-Structure  
Interaction.  
Underground  
Structures and  
Retaining Walls.



Научные труды  
института имеют  
международное  
признание.



Saint Petersburg  
2013



ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО  
ПРОСТРАНСТВА  
В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ:  
ДОСТИЖЕНИЯ И  
ПЕРСПЕКТИВЫ

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

[georeconstruction.com](http://georeconstruction.com)

GEORECONSTRUCTION



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ОБСЛЕДОВАНИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

ГЕОТЕХНИКА