

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

Генеральный директор  
института  
«Геореконструкция»  
Д-р геол.-минер.наук  
ШАШКИН А.Г.

## GEORECONSTRUCTION





**СПбГАСУ  
Институт  
гражданских  
инженеров**



**Горный  
институт**



**ПГУПС  
Путейский  
институт**



**Институт  
ГЕОРЕКОНСТРУКЦИЯ**

**Санкт-Петербург**

## **GEORECONSTRUCTION**



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

**ОБСЛЕДОВАНИЯ**

**ИЗЫСКАНИЯ**

**ГЕОТЕХНИКА**

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

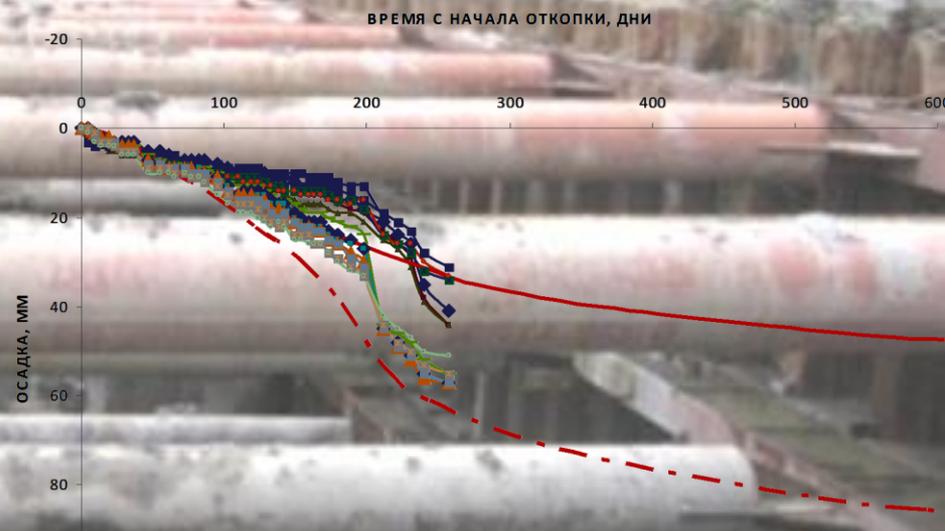
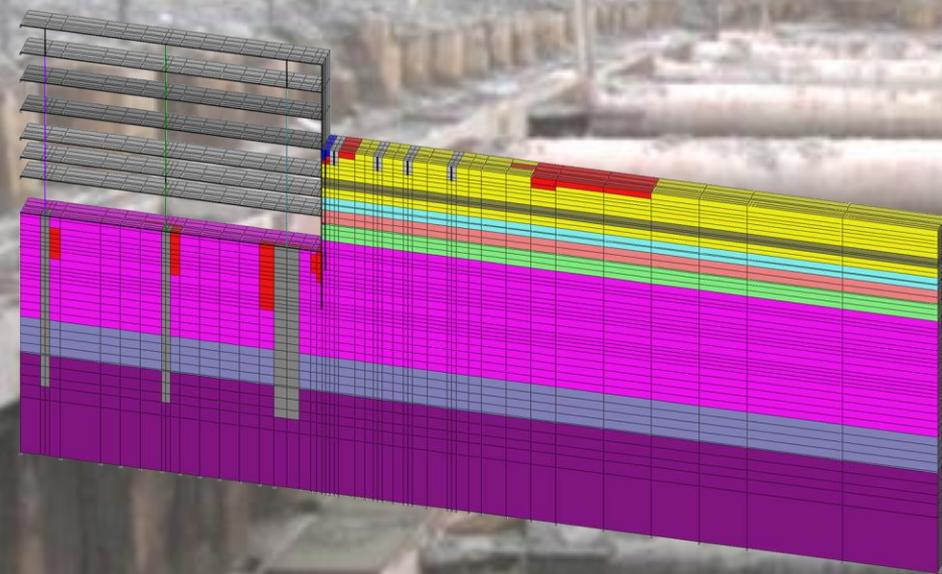
1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Геотехнический мониторинг – комплекс работ, основанный на системе натуральных наблюдений за поведением объекта и его основания, который проводится для контроля соответствия измеряемых параметров геотехническому прогнозу, диагностики наблюдаемых отклонений и принятия мер для стабилизации ситуации**



# Законодательные основы мониторинга в РФ

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

мониторинг становится обязательным для любого строящегося сооружения и распространяется на весь его жизненный цикл

мониторинг должен отслеживать состояние основания, конструкций и контролировать его соответствие проекту

мониторинг должен отслеживать изменение параметров, характеризующих безопасность объектов и геологической среды не только в процессе строительства, но и эксплуатации

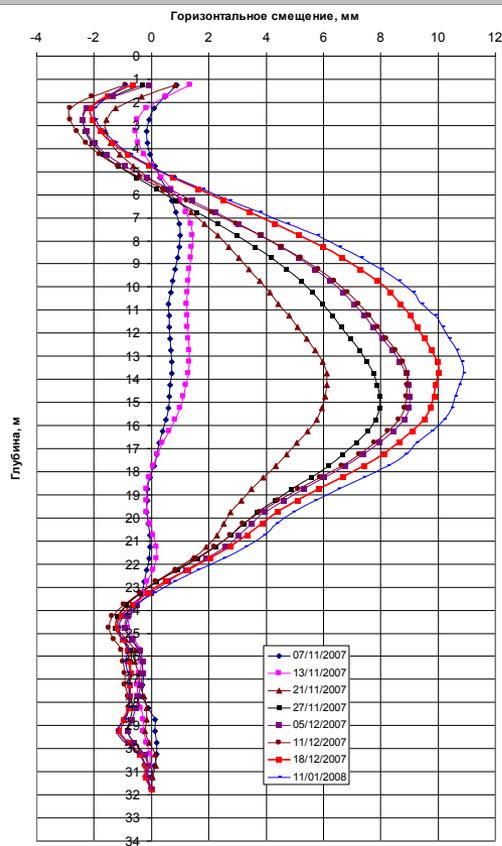
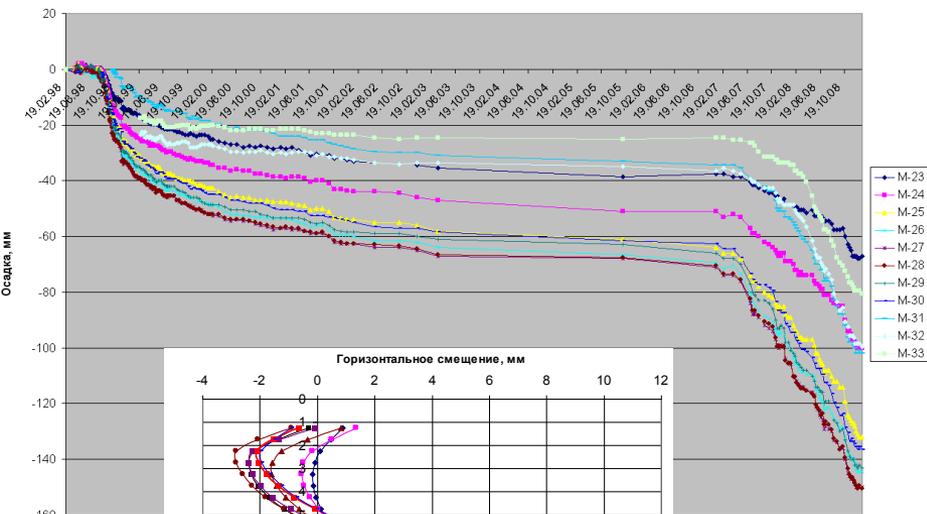
Статья 15 часть 9 Федерального закона от 30.12.2009 №384-ФЗ

*«В проектной документации лицом, осуществляющим подготовку проектной документации, должны быть предусмотрены ... необходимость проведения мониторинга компонентов окружающей среды, состояния основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения...»*

**Основные требования к геотехническому мониторингу сформулированы в СП 22.13330.2011**

# ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА

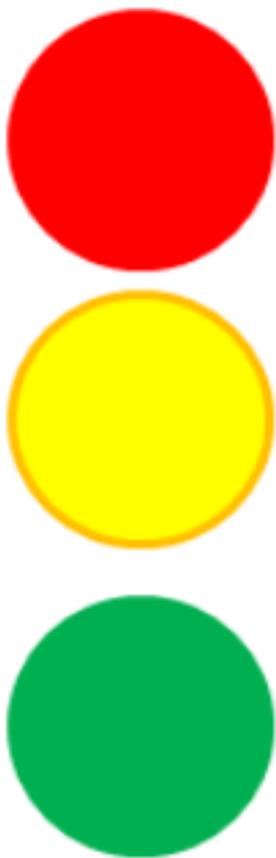
График вертикальных перемещений осадочных марок расположенных на межевой стене д. №44 по Лиговскому пр.



СП 22.13330 п.12.2 При проведении геотехнического мониторинга решаются следующие задачи:

- систематическая фиксация изменений контролируемых параметров конструкций сооружений и геологической среды;
- своевременное выявление отклонений контролируемых параметров (в т.ч. их изменений, нарушающих ожидаемые тенденции) конструкций строящегося (реконструируемого) объекта и его основания от заданных проектных значений, параметров грунтового массива и окружающей застройки - от значений, полученных в результате геотехнического прогноза;
- анализ степени опасности выявленных отклонений контролируемых параметров и установление причин их возникновения;
- разработка мероприятий, предупреждающих и устраняющих выявленные негативные процессы или причины, которыми они обусловлены.

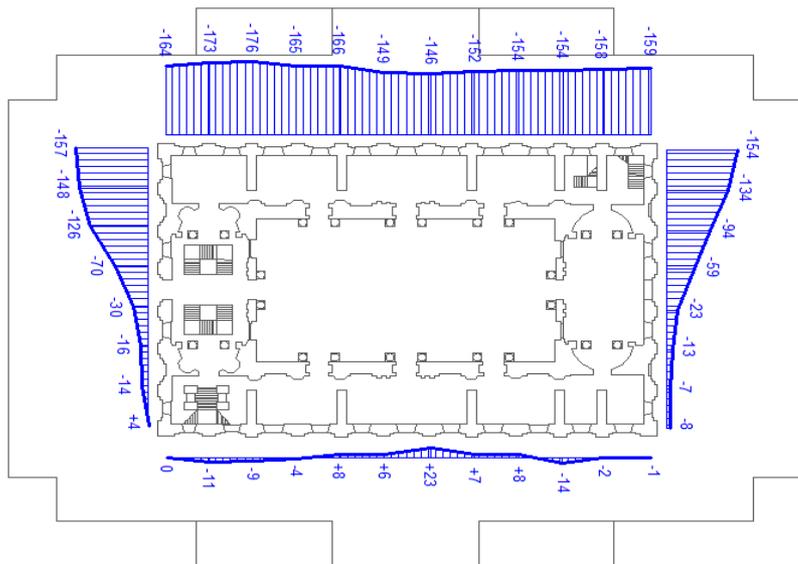
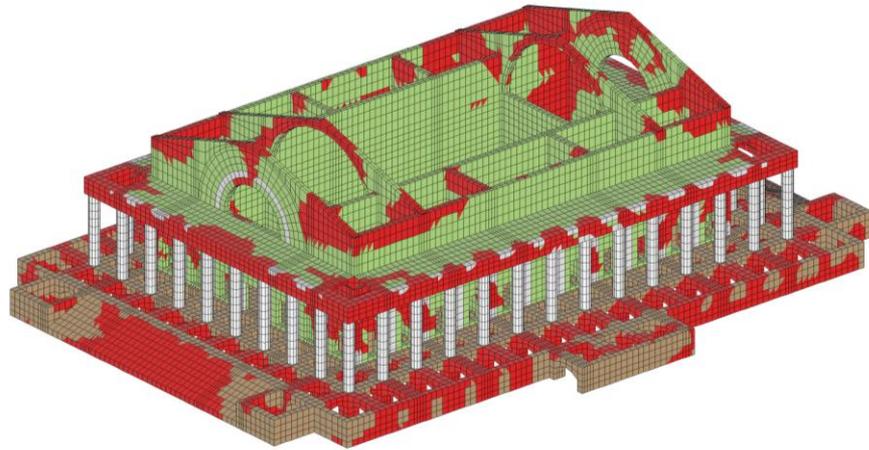
# ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА



СП 22.13330 п.12.2 При проведении геотехнического мониторинга решаются следующие задачи:

- систематическая фиксация изменений контролируемых параметров конструкций сооружений и геологической среды;
- своевременное выявление отклонений контролируемых параметров (в т.ч. их изменений, нарушающих ожидаемые тенденции) конструкций строящегося (реконструируемого) объекта и его основания от заданных проектных значений, параметров грунтового массива и окружающей застройки - от значений, полученных в результате геотехнического прогноза;
- анализ степени опасности выявленных отклонений контролируемых параметров и установление причин их возникновения;
- разработка мероприятий, предупреждающих и устраняющих выявленные негативные процессы или причины, которыми они обусловлены.

# ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА



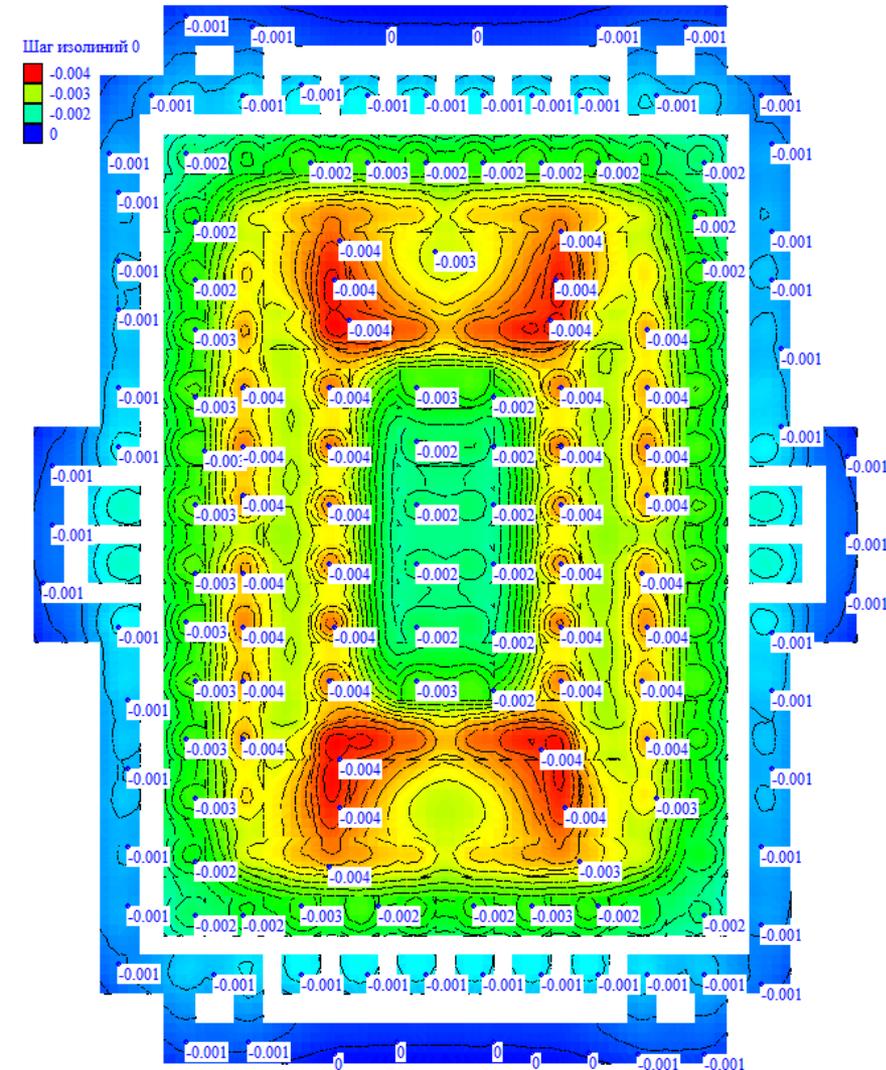
СП 22.13330 п.12.2 При проведении геотехнического мониторинга решаются следующие задачи:

- систематическая фиксация изменений контролируемых параметров конструкций сооружений и геологической среды;
- своевременное выявление отклонений контролируемых параметров (в т.ч. их изменений, нарушающих ожидаемые тенденции) конструкций строящегося (реконструируемого) объекта и его основания от заданных проектных значений, параметров грунтового массива и окружающей застройки - от значений, полученных в результате геотехнического прогноза;
- анализ степени опасности выявленных отклонений контролируемых параметров и установление причин их возникновения;
- разработка мероприятий, предупреждающих и устраняющих выявленные негативные процессы или причины, которыми они обусловлены.

# ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА

СП 22.13330 п.12.2 При проведении геотехнического мониторинга решаются следующие задачи:

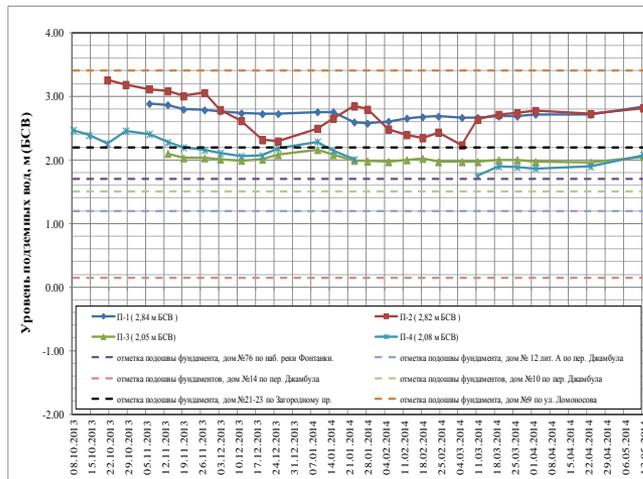
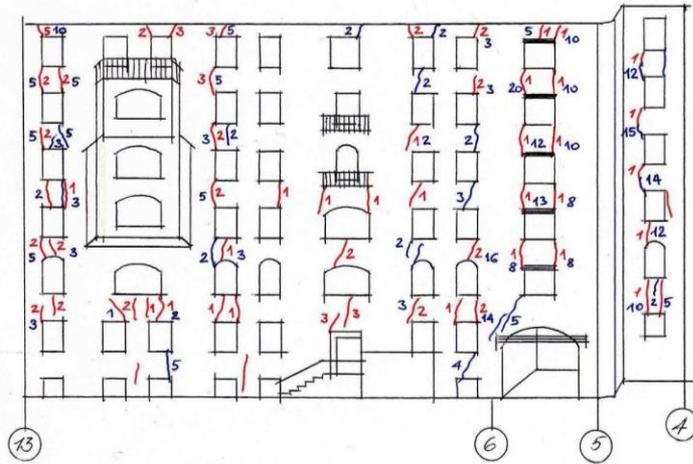
- систематическая фиксация изменений контролируемых параметров конструкций сооружений и геологической среды;
- своевременное выявление отклонений контролируемых параметров (в т.ч. их изменений, нарушающих ожидаемые тенденции) конструкций строящегося (реконструируемого) объекта и его основания от заданных проектных значений, параметров грунтового массива и окружающей застройки - от значений, полученных в результате геотехнического прогноза;
- анализ степени опасности выявленных отклонений контролируемых параметров и установление причин их возникновения;
- разработка мероприятий, предупреждающих и устраняющих выявленные негативные процессы или причины, которыми они обусловлены.



# МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА

СП 22.13330.2011, 12.3 При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы:

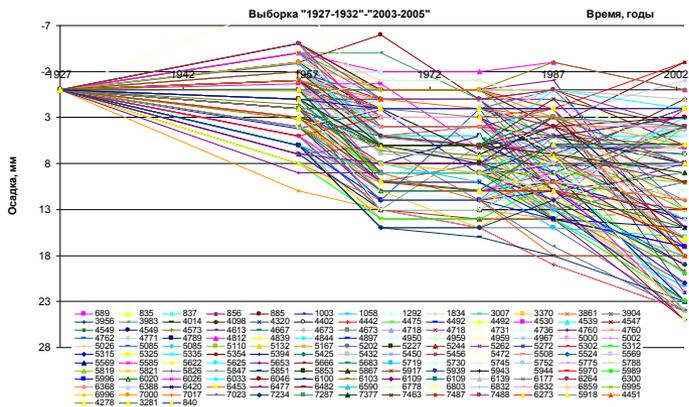
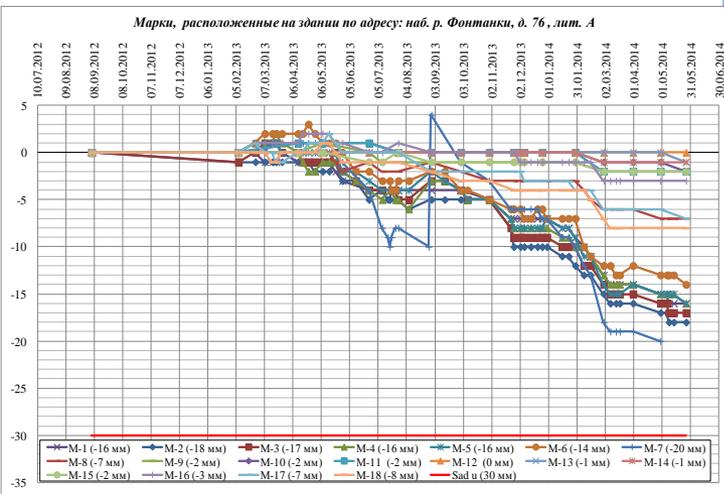
- визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в т.ч. поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.);
- геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в т.ч. оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем;
- параметрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации (в том числе струнных, тензометрических, оптоволоконных, инклинометрических и др.);
- виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений);
- геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.)



# МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА

СП 22.13330.2011, 12.3 При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы:

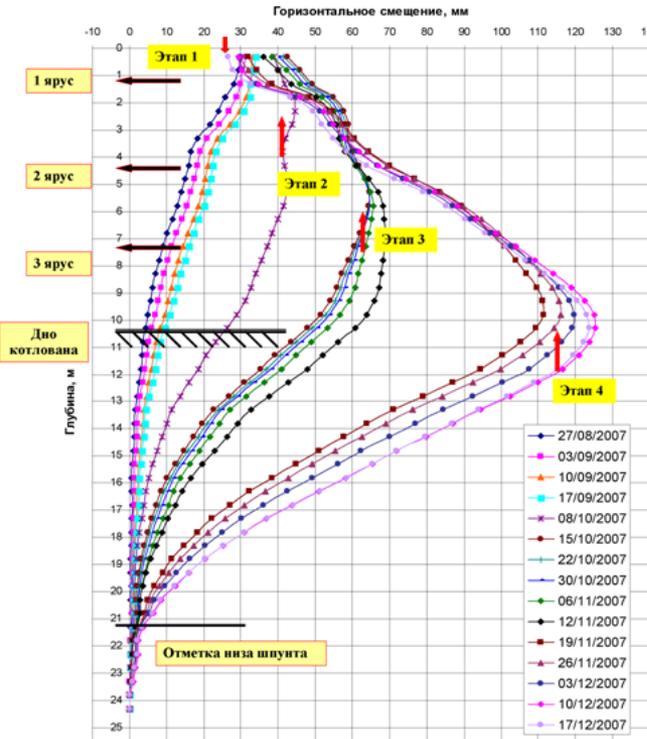
- визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в т.ч. поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.);
- геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в т.ч. оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем;
- параметрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации (в том числе струнных, тензометрических, оптиковолоконных, инклинометрических и др.);
- виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений);
- геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.)



# МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА

СП 22.13330.2011, 12.3 При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы:

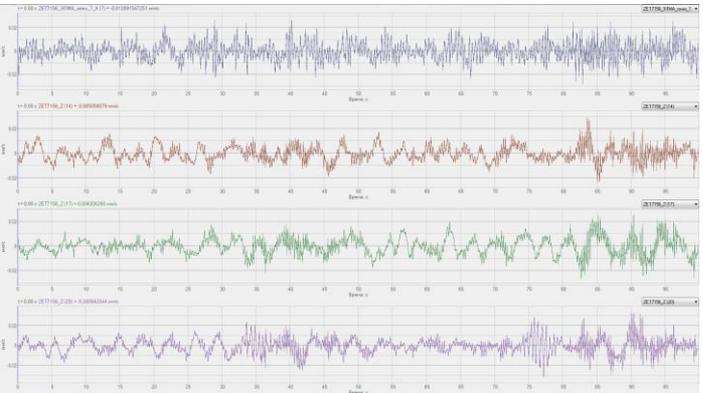
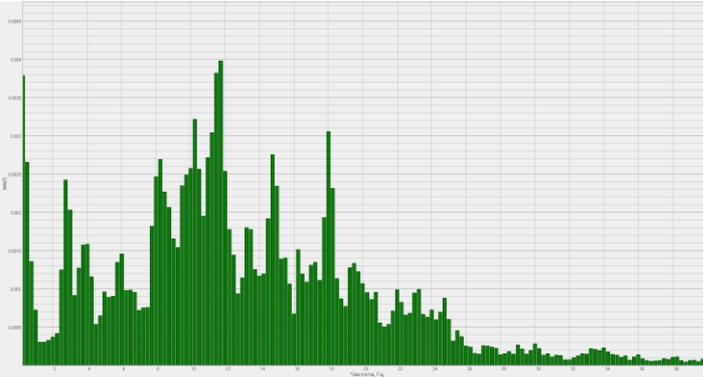
- визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в т.ч. поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.);
- геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в т.ч. оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем;
- параметрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации (в том числе струнных, тензометрических, оптиковолоконных, инклинометрических и др.);
- виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений);
- геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.)



# МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА

СП 22.13330.2011, 12.3 При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы:

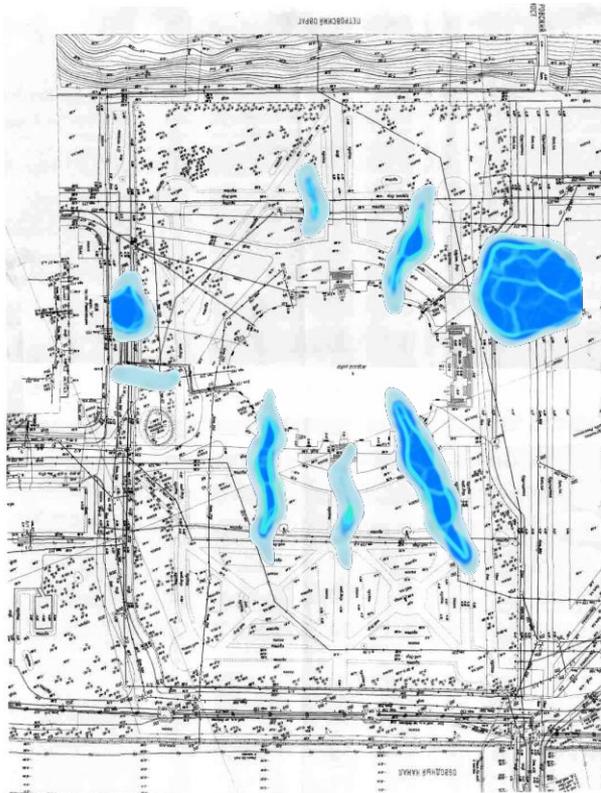
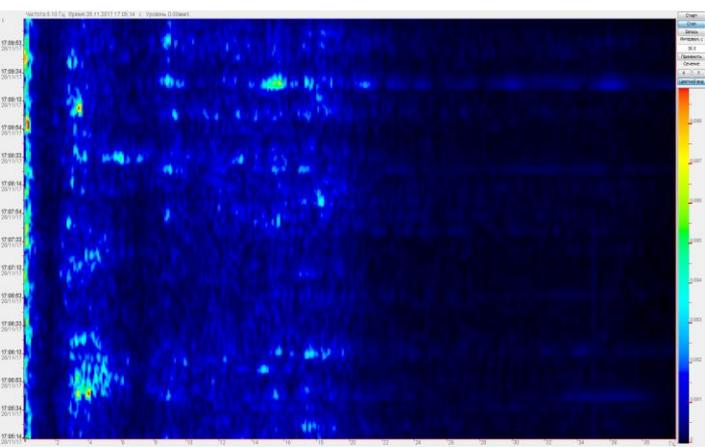
- визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в т.ч. поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.);
- геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в т.ч. оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем;
- параметрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации (в том числе струнных, тензометрических, оптиковолоконных, инклинометрических и др.);
- виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений);
- геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.)



# МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА

СП 22.13330.2011, 12.3 При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы:

- визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в т.ч. поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.);
- геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в т.ч. оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем;
- параметрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации (в том числе струнных, тензометрических, оптоволоконных, инклинометрических и др.);
- виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений);
- геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.)



12.18 Разработку программы и проекта геотехнического мониторинга, а также его проведение должны выполнять специализированные организации.

**3.38 Специализированные организации:** Организации, основным направлением деятельности которых является выполнение комплексных инженерных изысканий и проектирование оснований, фундаментов и подземных частей сооружений, располагающие квалифицированным и опытным персоналом, в т.ч. с **обязательным привлечением научных кадров**, соответствующим сертифицированным оборудованием и программным обеспечением.



## GEORECONSTRUCTION



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ОБСЛЕДОВАНИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

ГЕОТЕХНИКА

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)



Мониторинг – не градусник,  
способный на одни только  
измерения, а доктор, умеющий  
поставить правильный диагноз

# Обычное строительство

Здания нормального  
уровня ответственности



# Типовая застройка



# Обычные автомобильные дороги



# Современные вызовы в области строительства: повышенный уровень ответственности

## Высотное строительство



**ОБЩЕЕ  
ДЛЯ  
СОВРЕ-  
МЕННЫХ  
ВЫЗОВОВ  
В  
ОБЛАСТИ  
СТРОИ-  
ТЕЛЬСТВА:  
РЕЗКИЙ  
РОСТ  
ЧИСЛА  
ФАКТОРОВ  
РИСКА**

## Подземное строительство



## Высокоскоростные автомагистрали



# РЕЗКИЙ РОСТ ЧИСЛА ФАКТОРОВ РИСКА :

Рост числа факторов риска, характерный для объектов 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 – **институт «Геореконструкция» специализируется на минимизации негативных последствий**



# ВИДЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

- **Мониторинг данных инженерно-геологических изысканий**
- **Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства**
- **Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства объекта**
- **Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации**
- **Мониторинг природно-техногенных процессов на территории расположения объекта**
- **Мониторинг для апробации геотехнологий**
- **Мониторинг для развития и проверки проектных решений и методов расчета**

# ВИДЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

- **Мониторинг данных инженерно-геологических изысканий**
- **Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства**
- **Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства объекта**
- **Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации**
- **Мониторинг природно-техногенных процессов на территории расположения объекта**
- **Мониторинг для апробации геотехнологий**
- **Мониторинг для развития и проверки проектных решений и методов расчета**

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

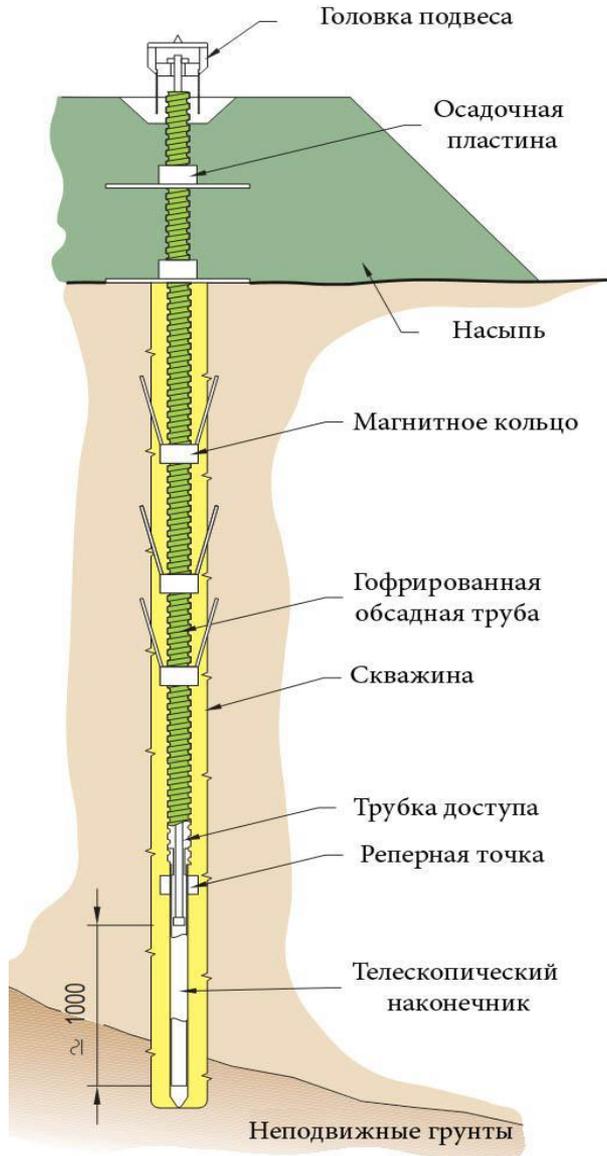
# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства. Часть 1. Оборудование для мониторинга
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

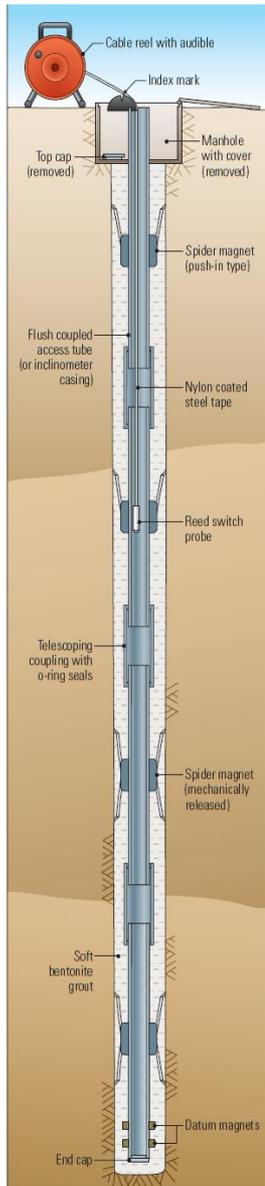
**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

# Измерение послойных деформаций основания здания или сооружения с помощью экстензометра

## Установка датчиков послойных деформаций (экстензометров)

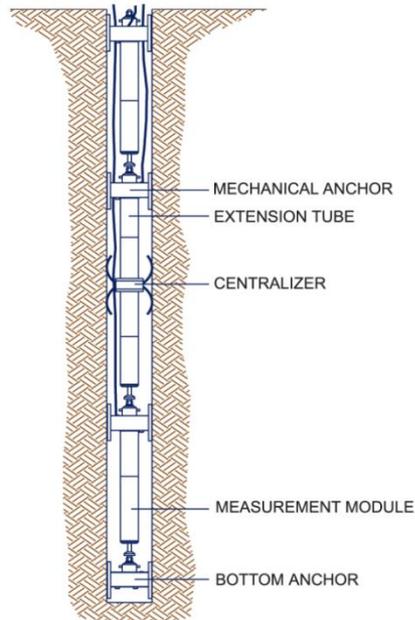


# Измерение послойных деформаций основания здания или сооружения с помощью экстензометра



*Схема установки в буровую скважину датчиков для ручных измерений деформации грунтов.*

*Схема установки в буровую скважину датчиков для автоматических измерений деформации грунтов*



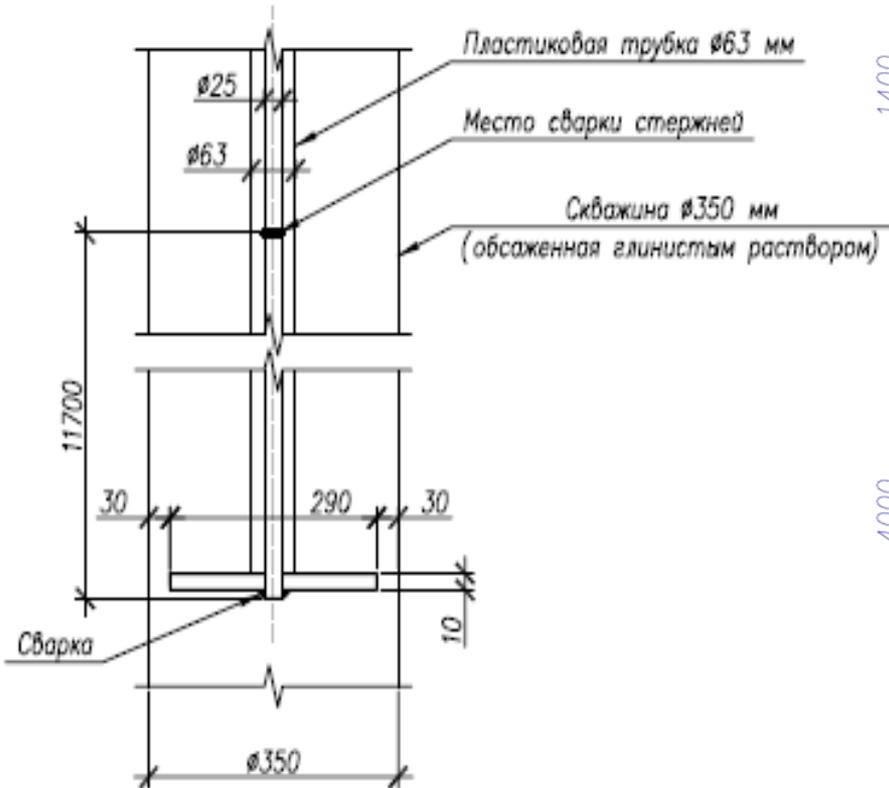
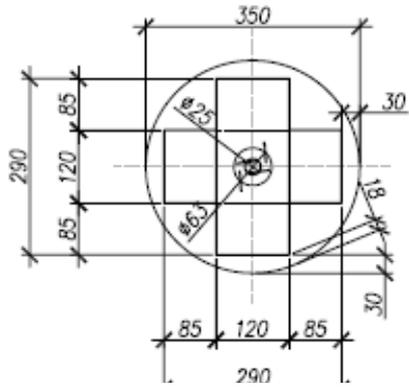
*Вид магнитного кольца деформации*



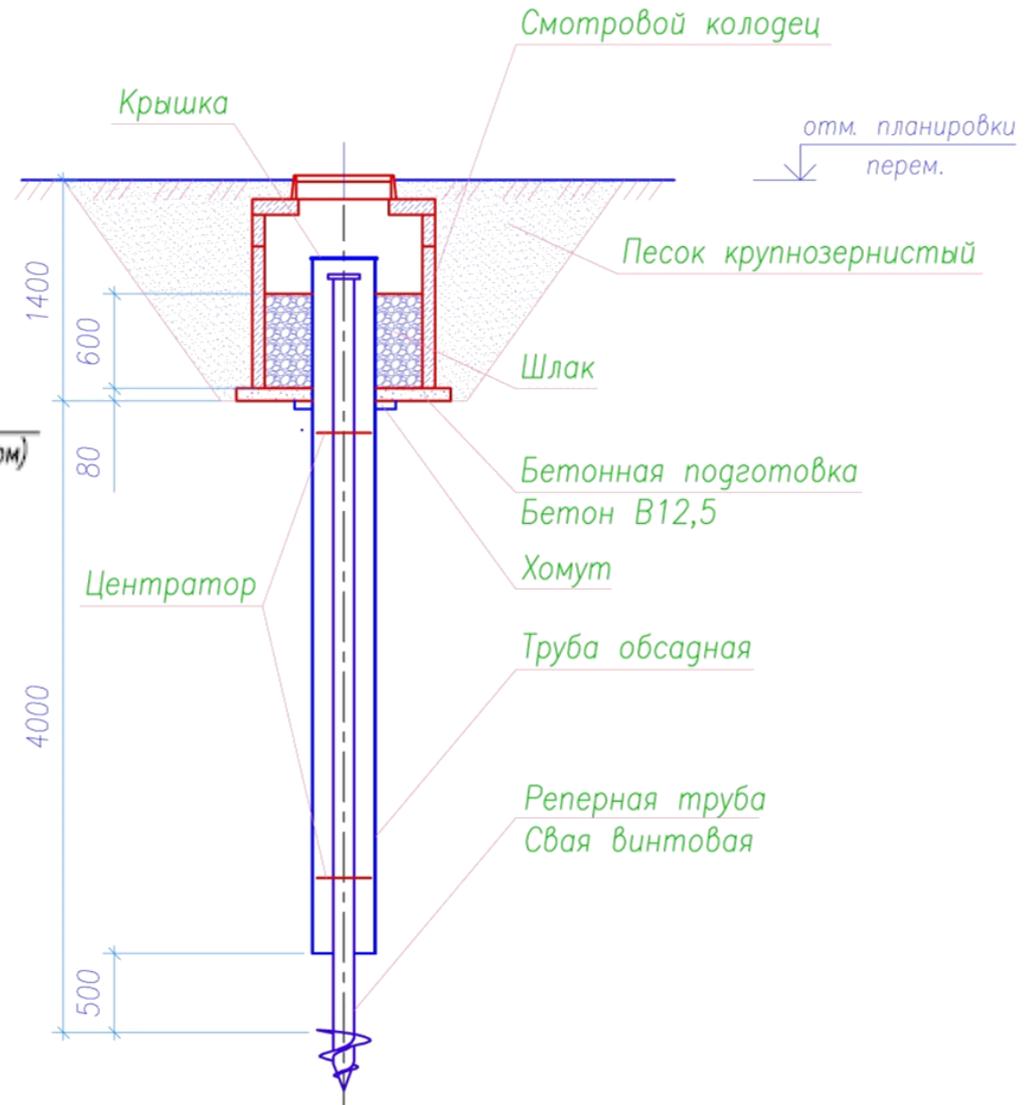
*Голова подвеса экстензометра для ручных измерений*



# Поверхностные марки для геодезических измерений

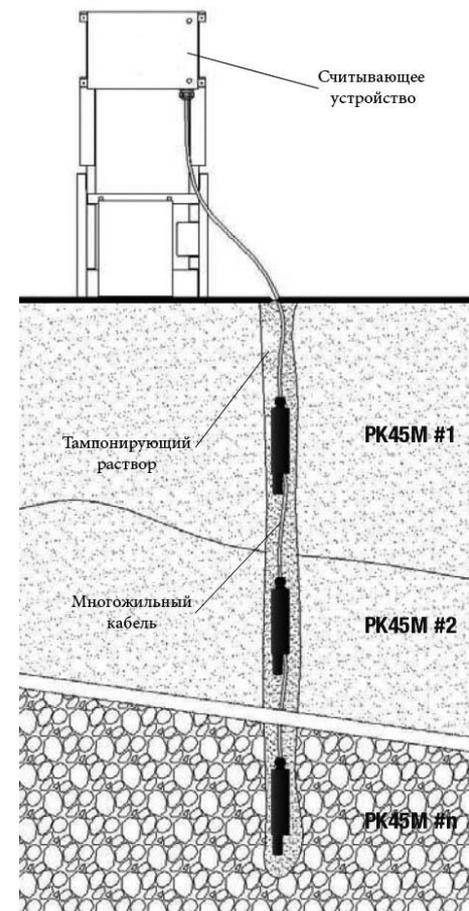


## Схема устройства осадочной марки



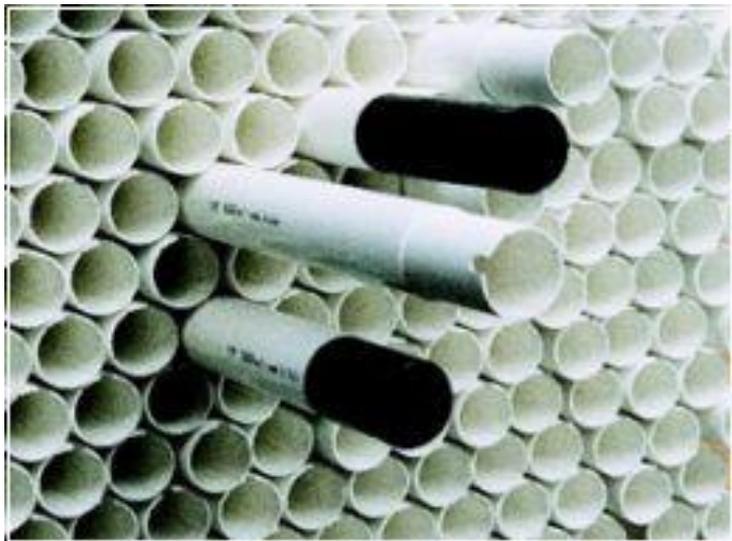
# Измерение избыточного порового давления в основании здания или сооружения

## Установка датчиков порового давления



# Определение горизонтальных смещений основания с помощью вертикального инклинометра

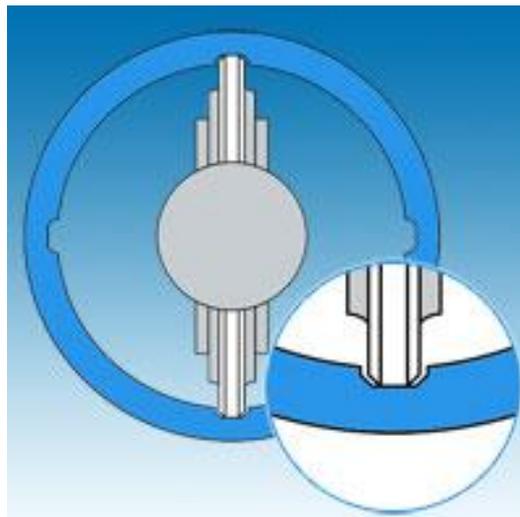
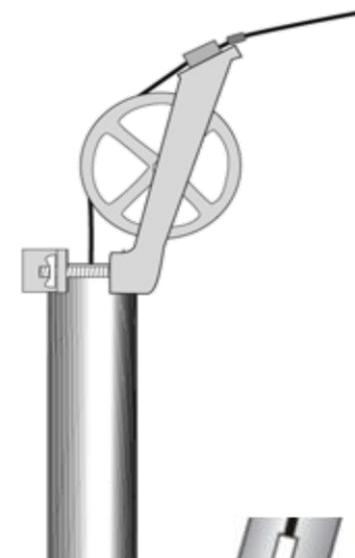
*Инклинометрические трубки, даталоггер, катушка*



*Поперечное сечение инклинометрической трубы*



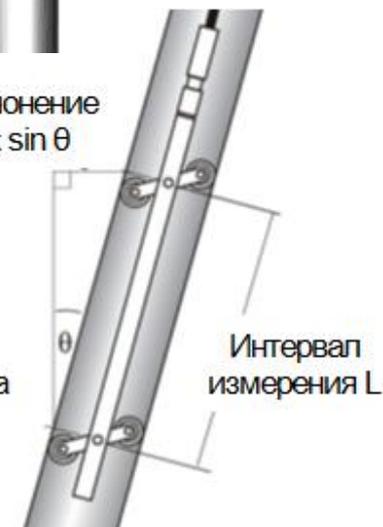
*Погружение инклинометрического зонда в трубу*



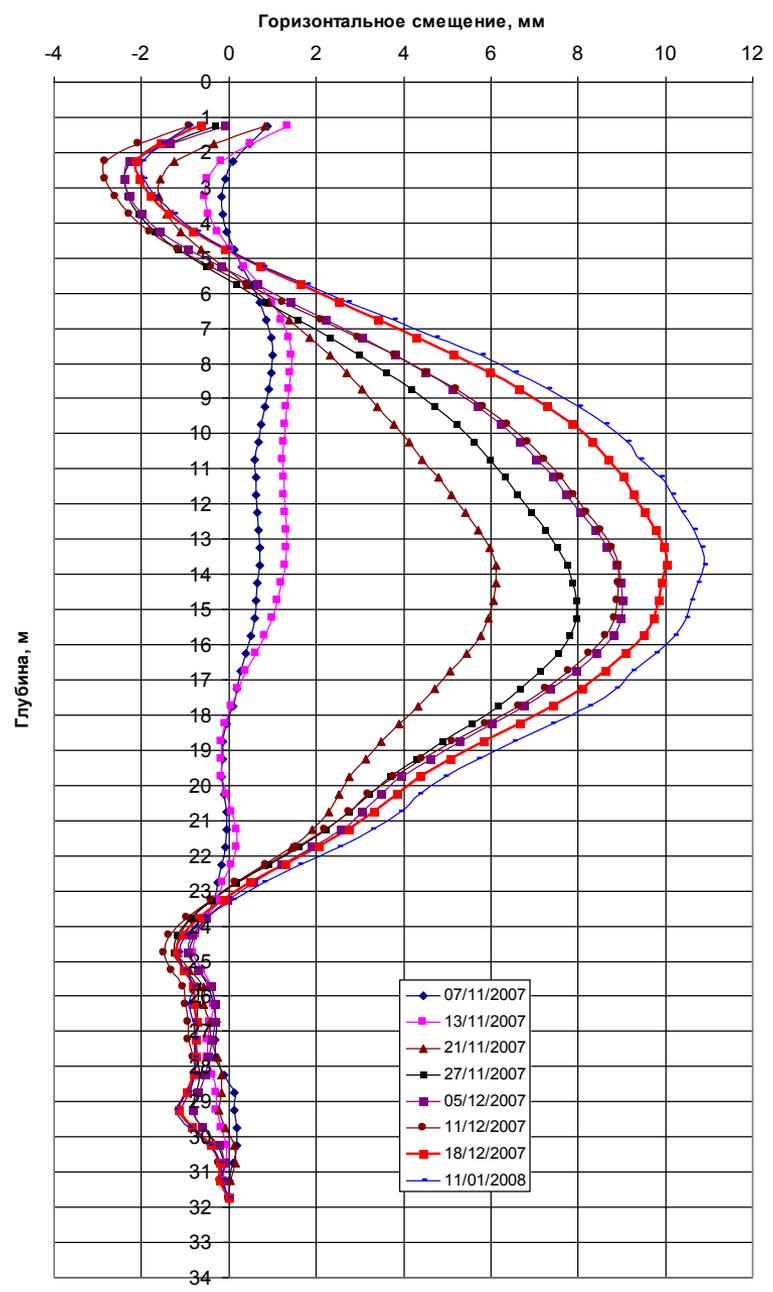
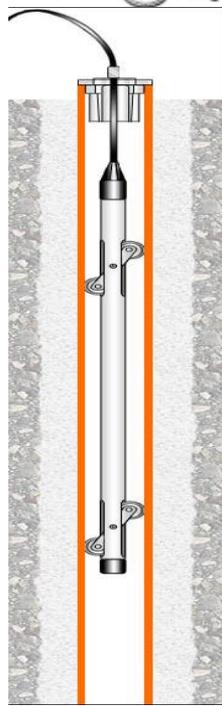
Отклонение  
 $L \times \sin \theta$

Угол  
наклона

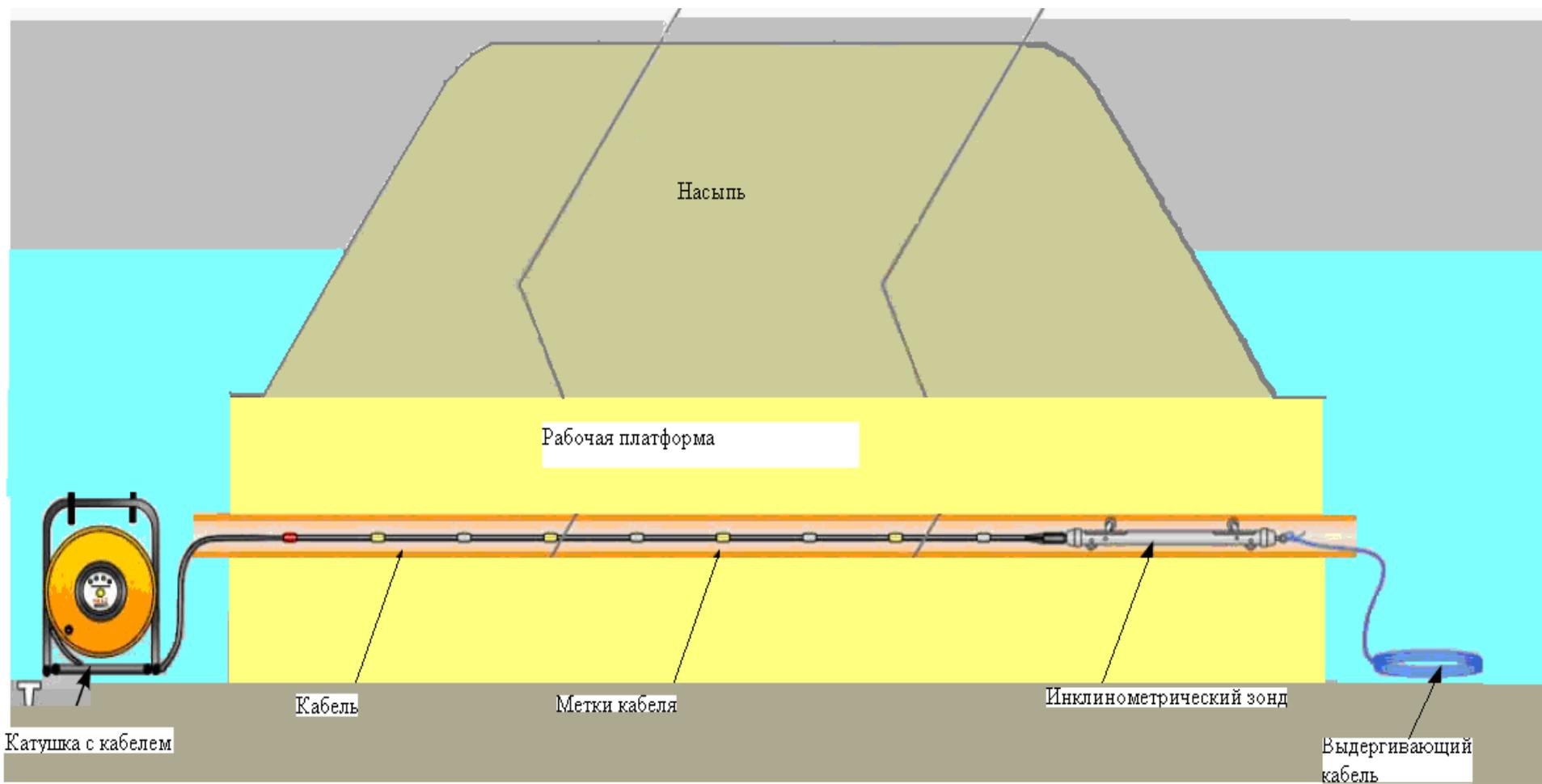
Интервал  
измерения L



# Инклинометры для определения горизонтальных смещений основания

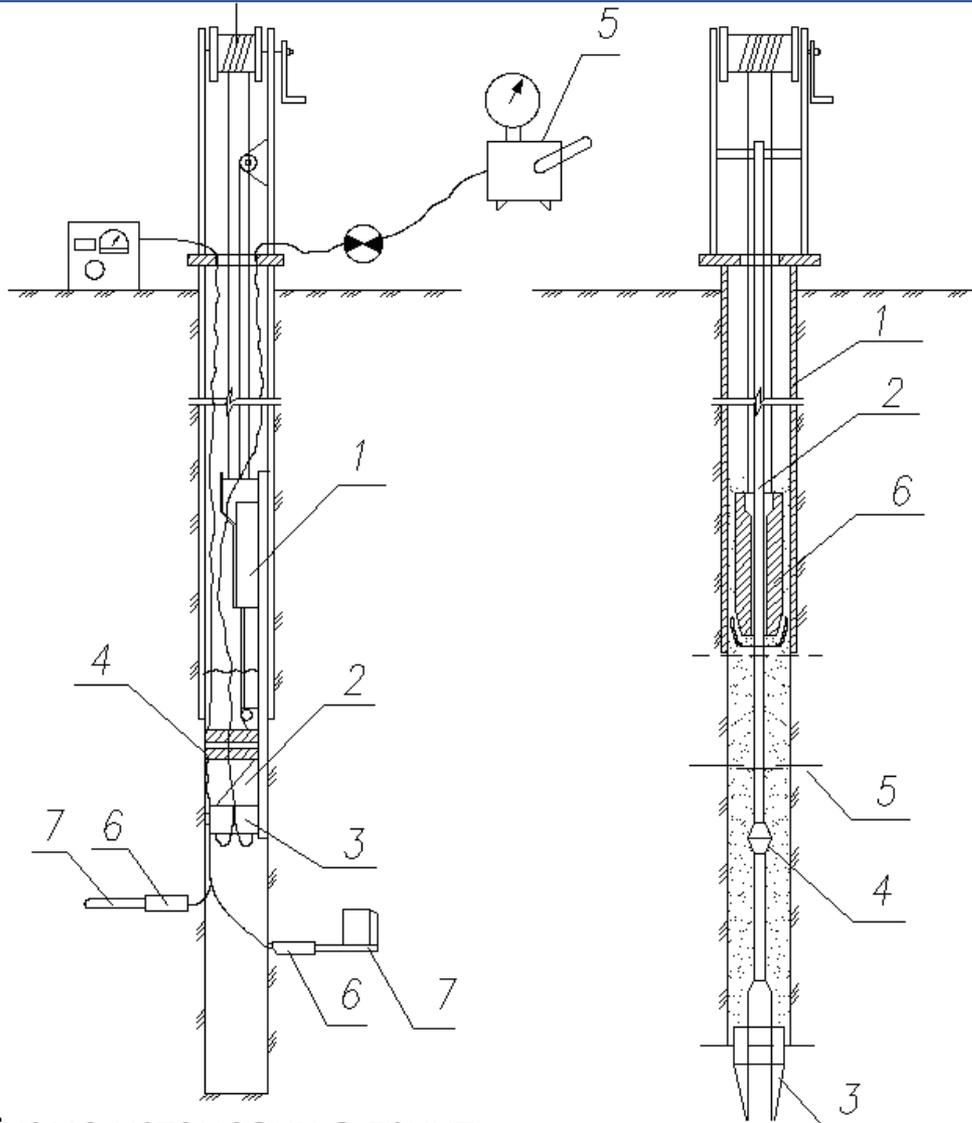


# Определение горизонтальных смещений насыпи с помощью горизонтального инклинометра



*Принципиальная схема проведения измерений деформаций основания насыпи при помощи горизонтальных инклинометрических скважин.*

# Оригинальное оборудование для геотехнического мониторинга



**А.В.ГОЛЛИ:**  
Развитие методологии натуральных исследований и измерительного оборудования

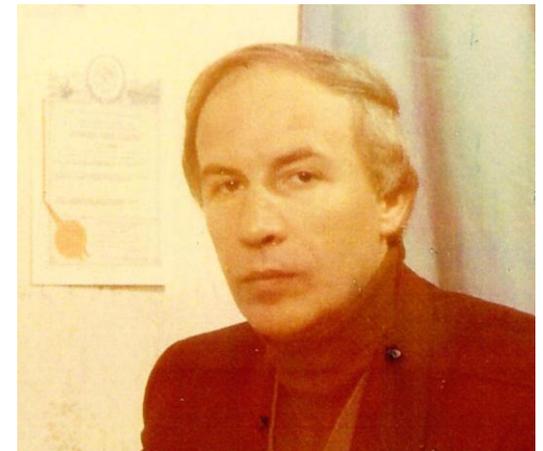
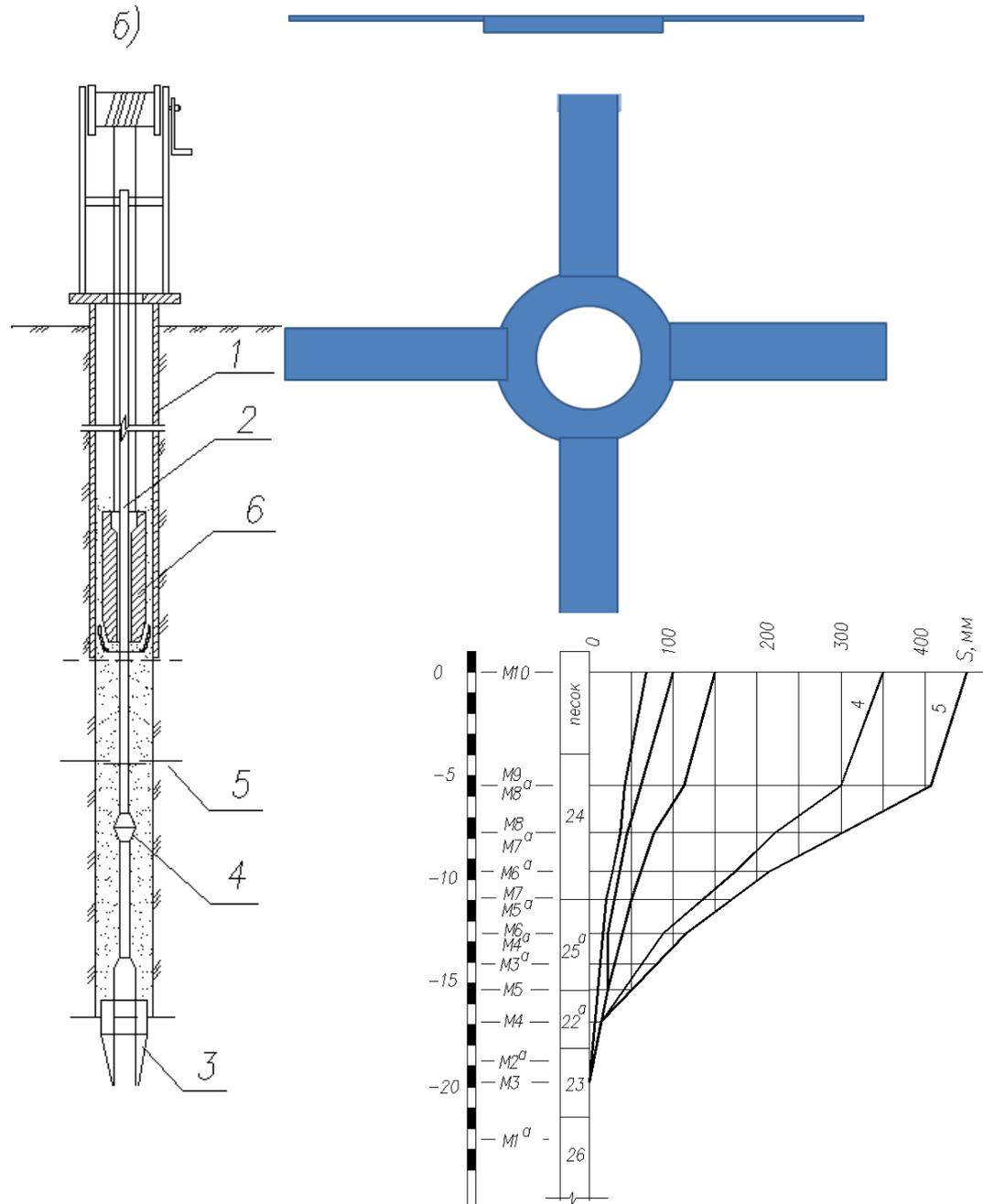
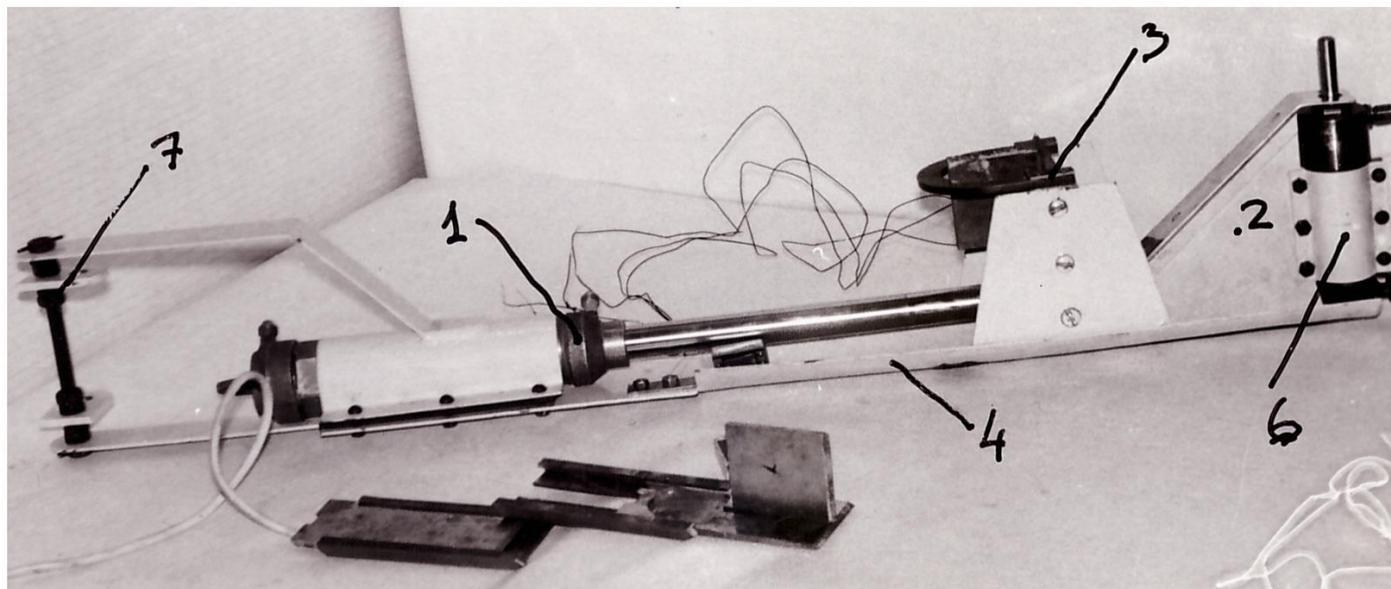
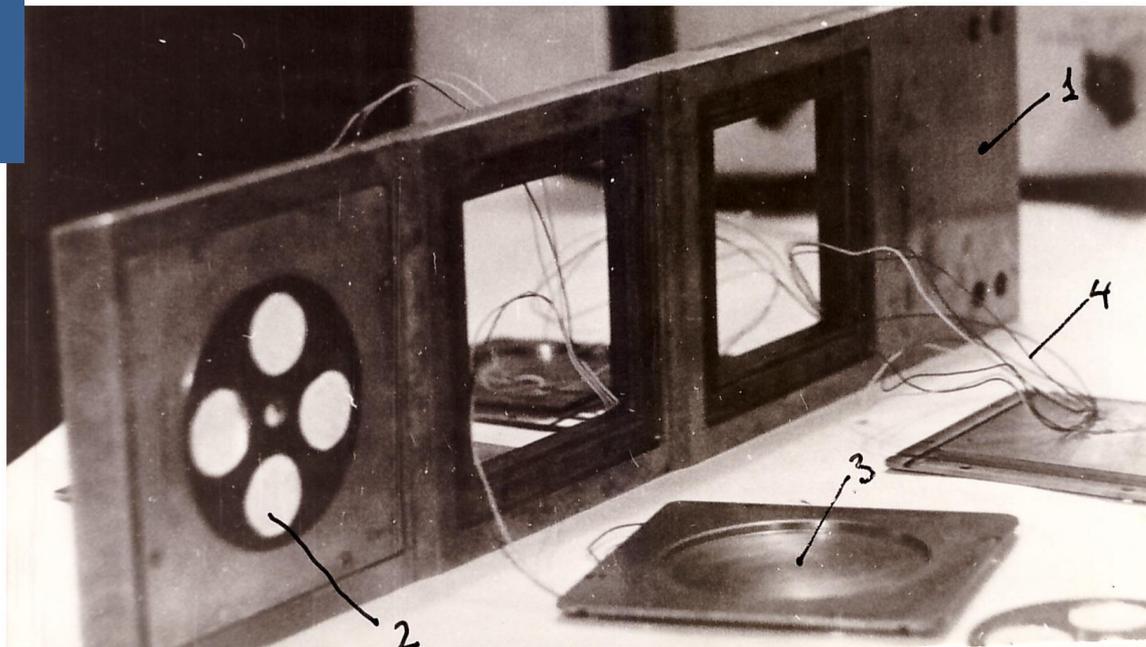
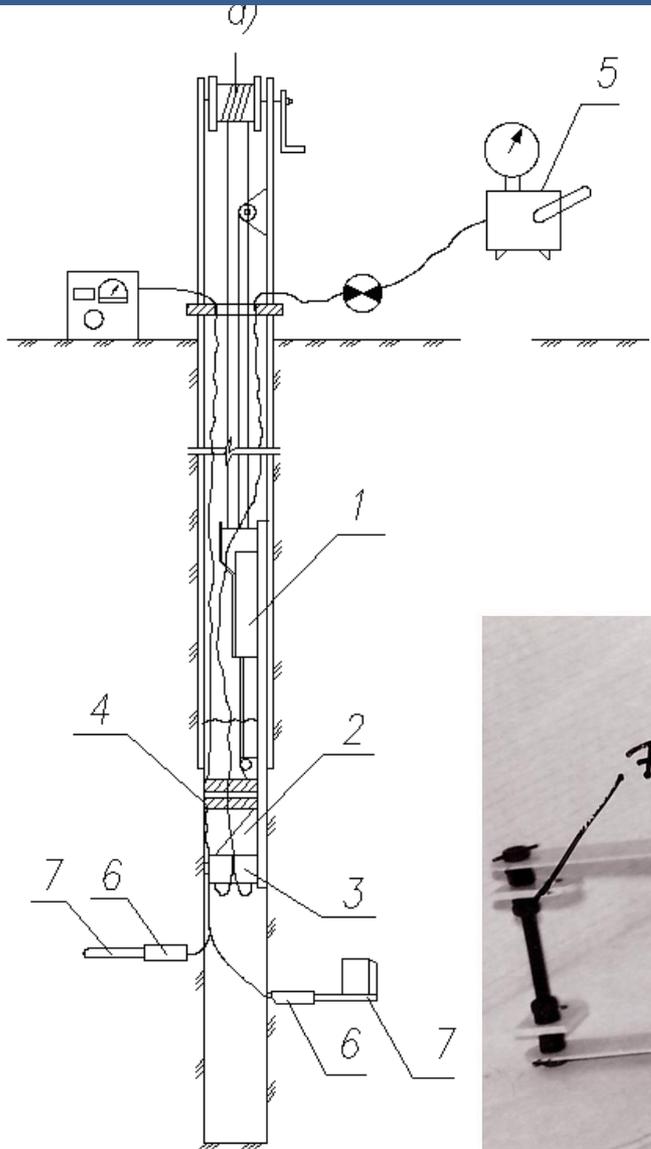


Схема установки в грунт мессдоз (а) и глубинных марок (б)

# Экстензометры для определения вертикальных деформаций основания



# Мессдозы для определения тотальных и эффективных напряжений в основании



# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства. Часть 2. Мониторинг на дамбе
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

# Мониторинг консолидации слабых глинистых грунтов и теория фильтрационной консолидации

Объект мониторинга – искусственная территория, здания и сооружения в ее пределах и на ее границах



Цель: определить, с каким шагом надо ставить геодрены, чтобы обеспечить уплотнение и упрочнение основания дамбы за 3 года?

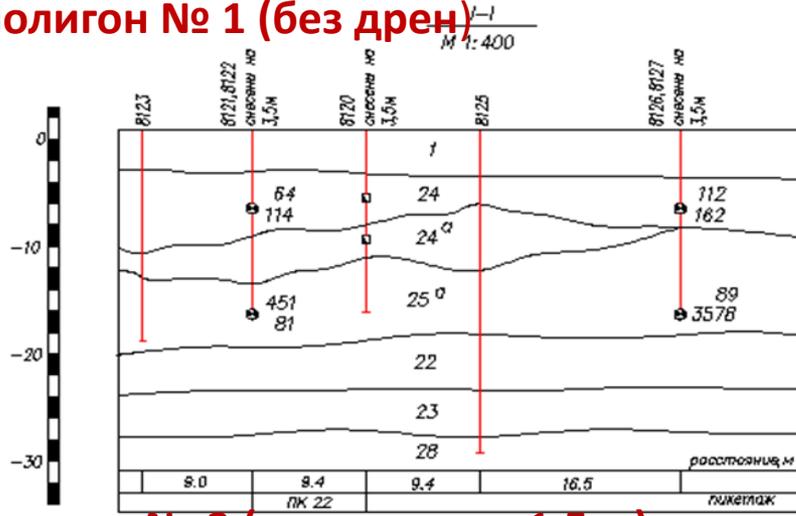
Исходные данные – результаты расчета процесса развития длительных деформаций основания под весом намываемого грунта.

# Геотехнический мониторинг на дамбе сооружений защиты от наводнений

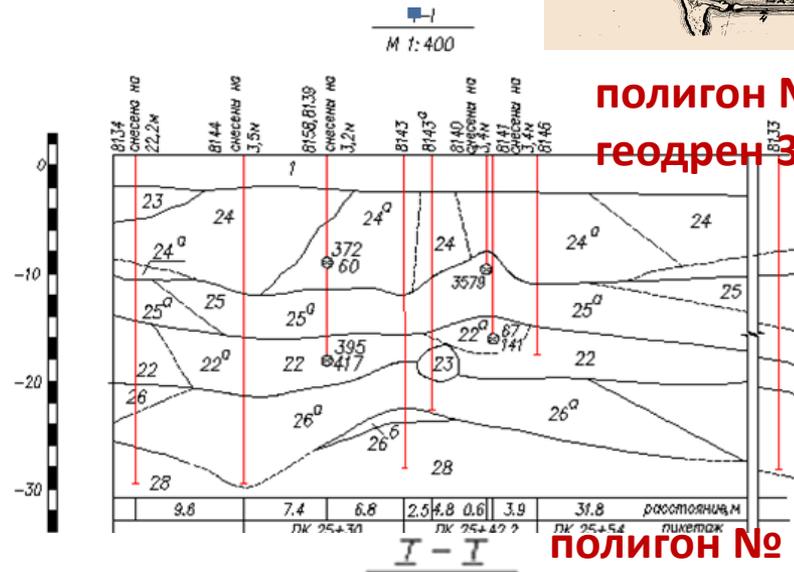


Оборудование: экстензометры, датчики порового давления, месдозы, поверхностные марки

**полигон № 1 (без дрена)**

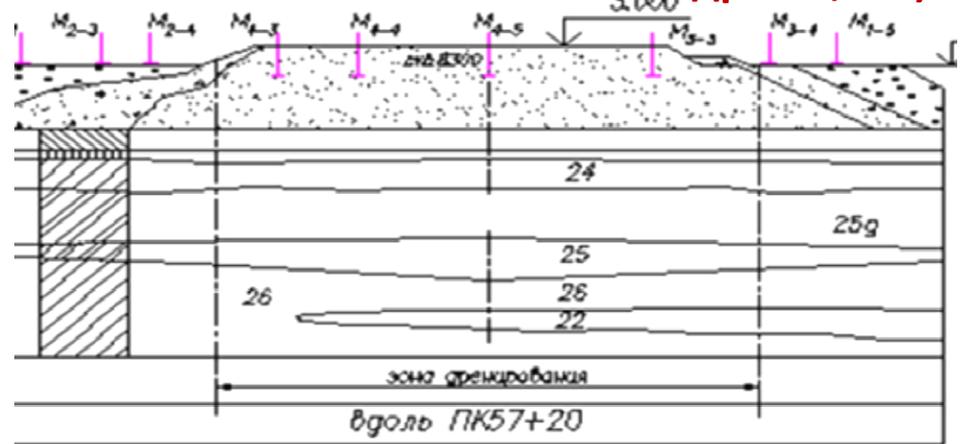
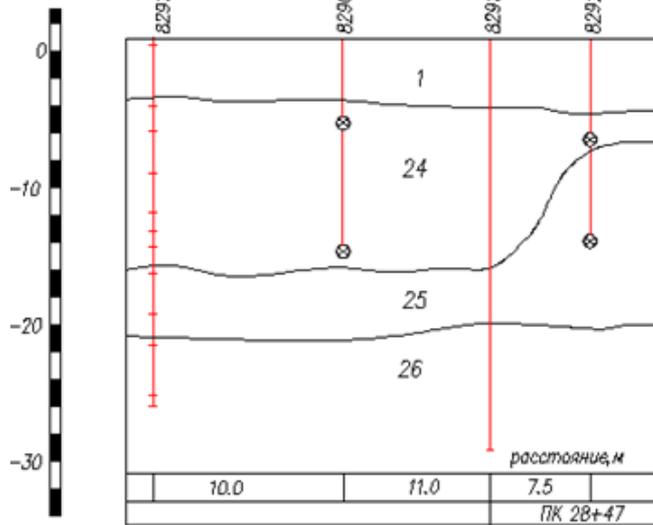


**полигон № 3 (шаг геодрен 3,5 м)**



**полигон № 4 (шаг геодрен 3,0 м)**

**полигон № 2 (шаг геодрен 1,5 м)**



# Мониторинг консолидации слабых глинистых грунтов и теория фильтрационной консолидации

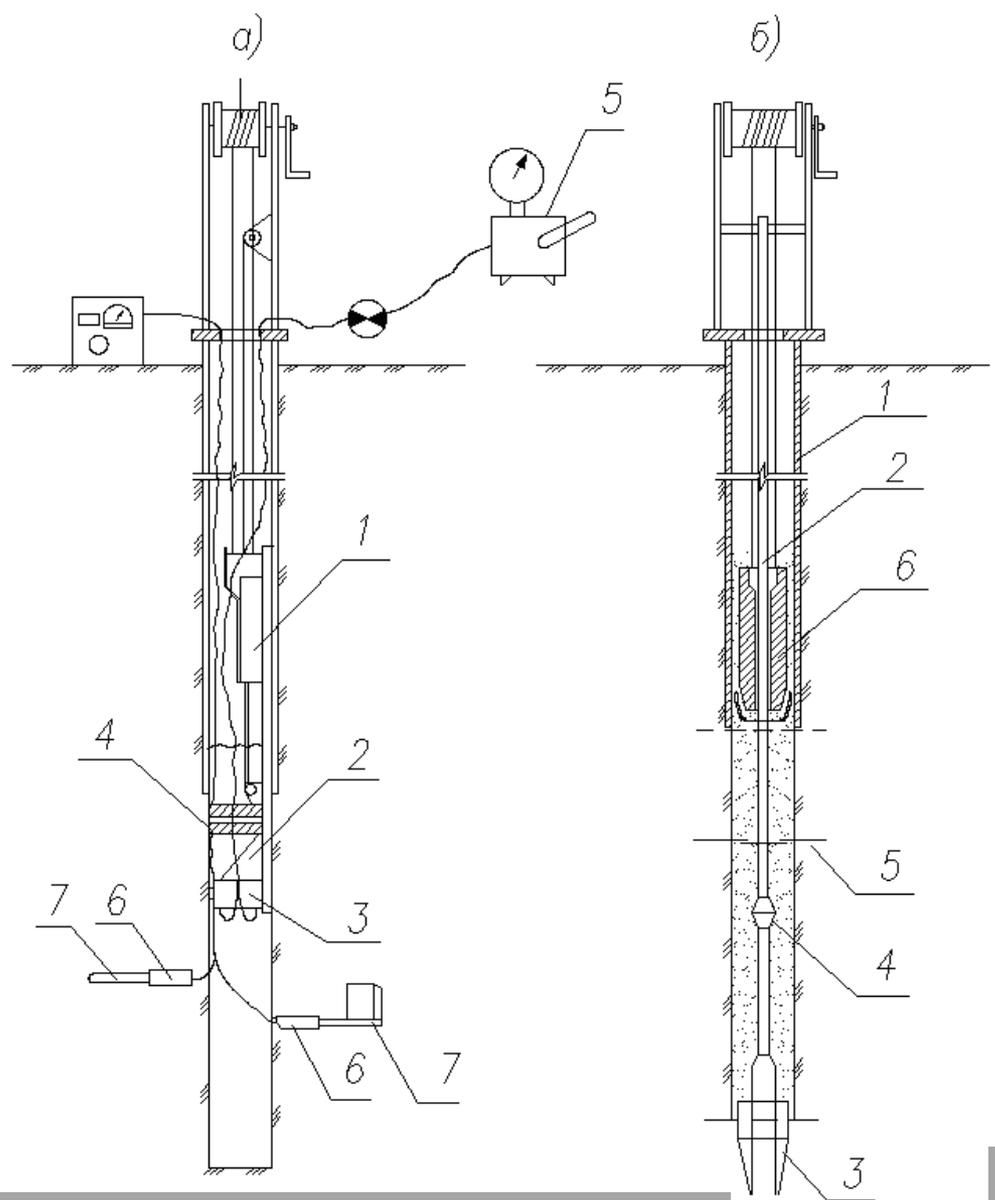
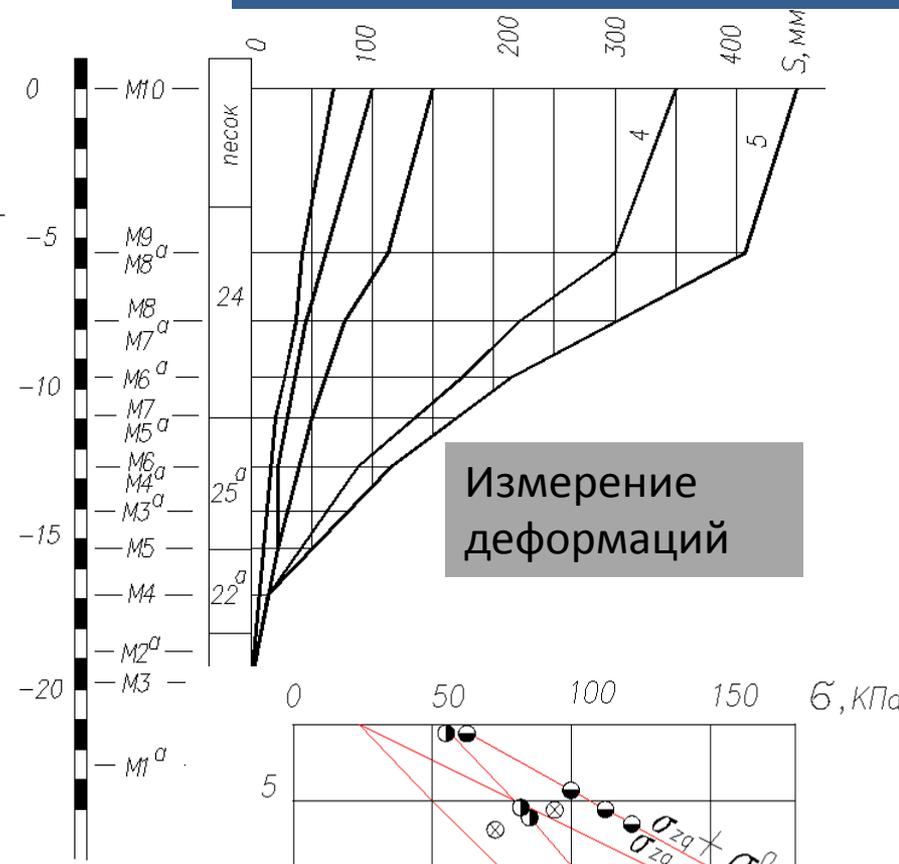


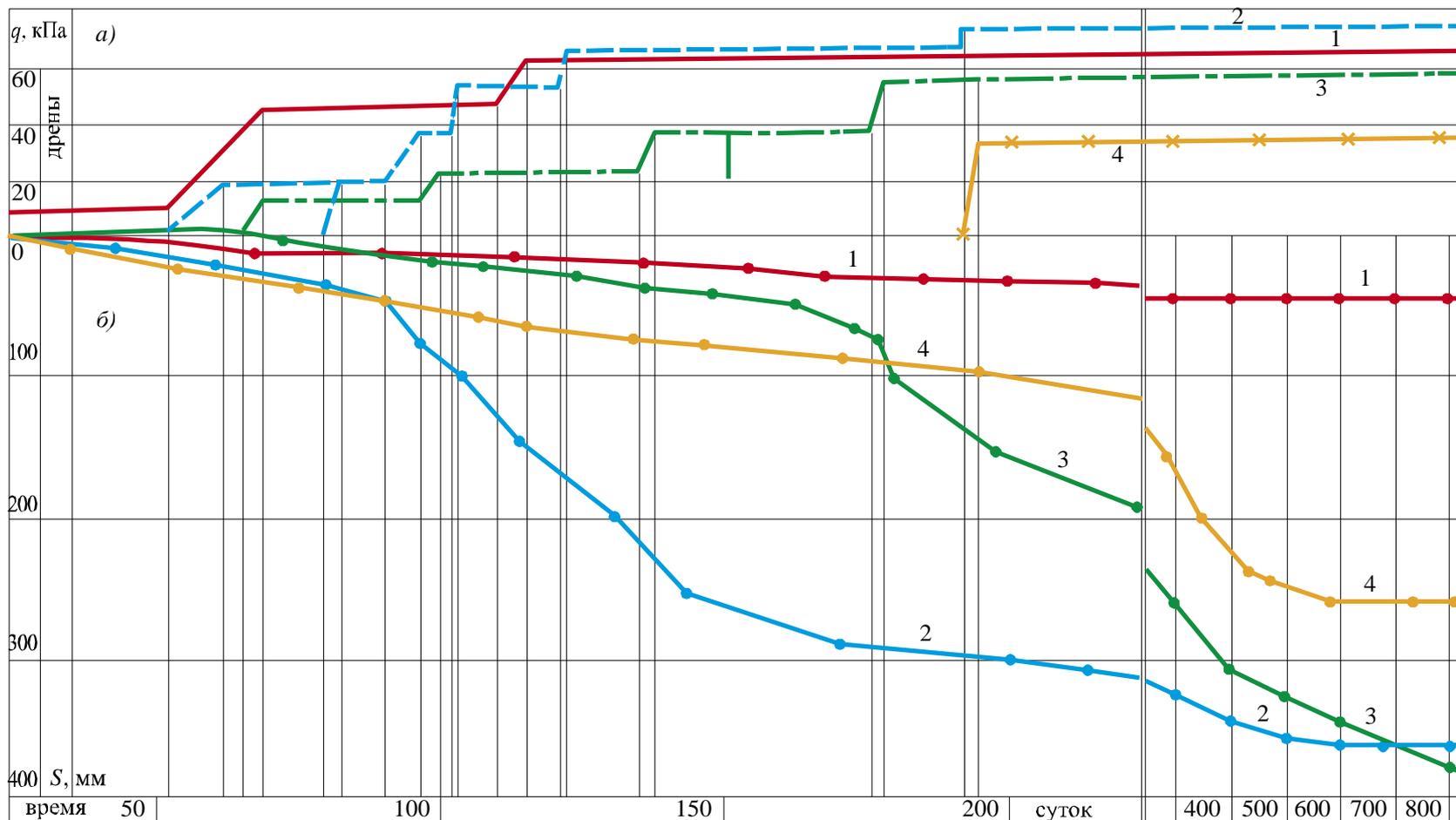
Схема установки в грунт месдоз (а) и глубинных марок (б)



Измерение деформаций

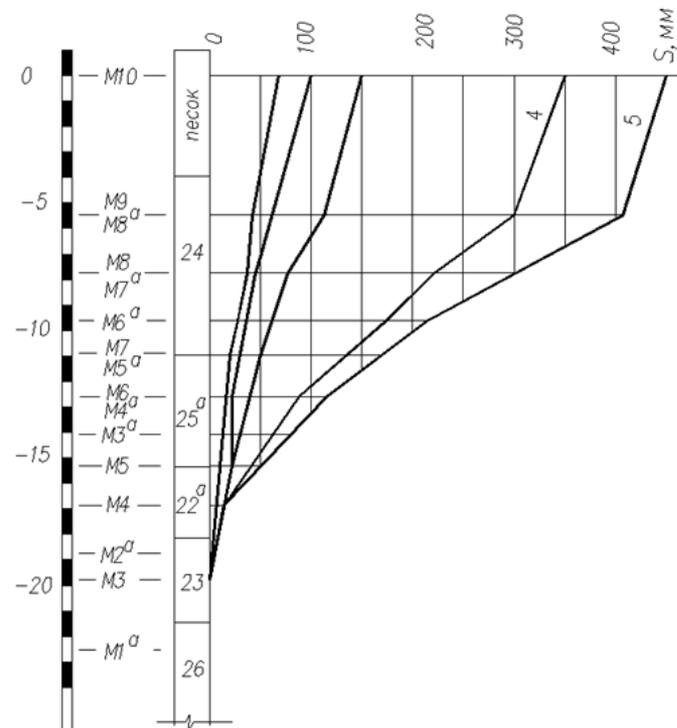
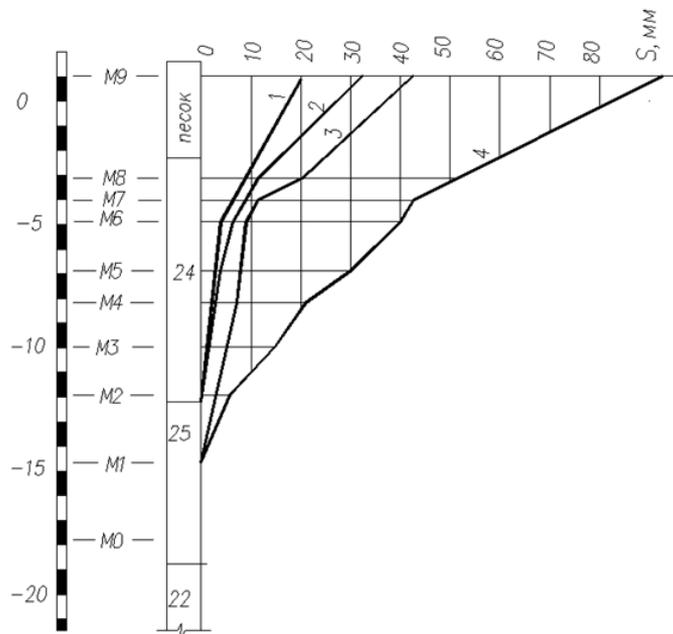
Измерение напряжений

# Развитие осадок поверхности пылевато-глинистого грунта во времени при нагружении



**Слабые водонасыщенные глинистые грунты естественного сложения проявляют различную реакцию на квазистатическое нагружение в зависимости от условий дренирования.**

# Эпюры послойных деформаций на полигонах 1 и 2

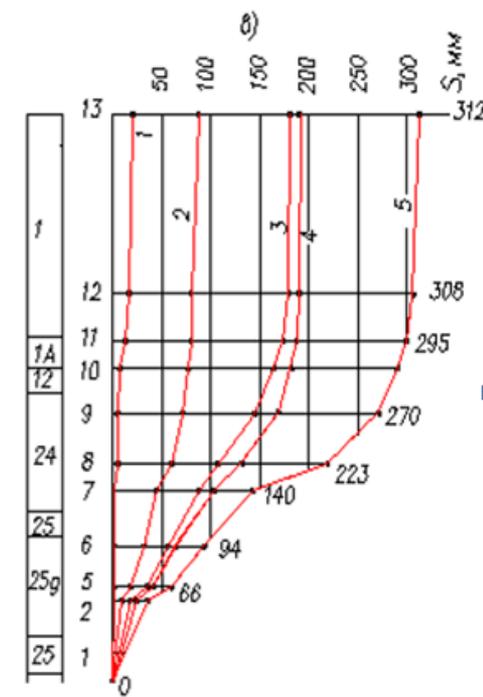
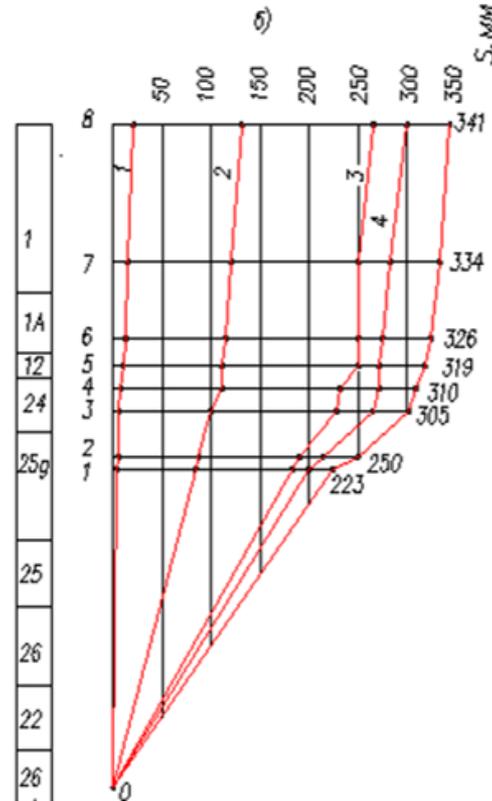
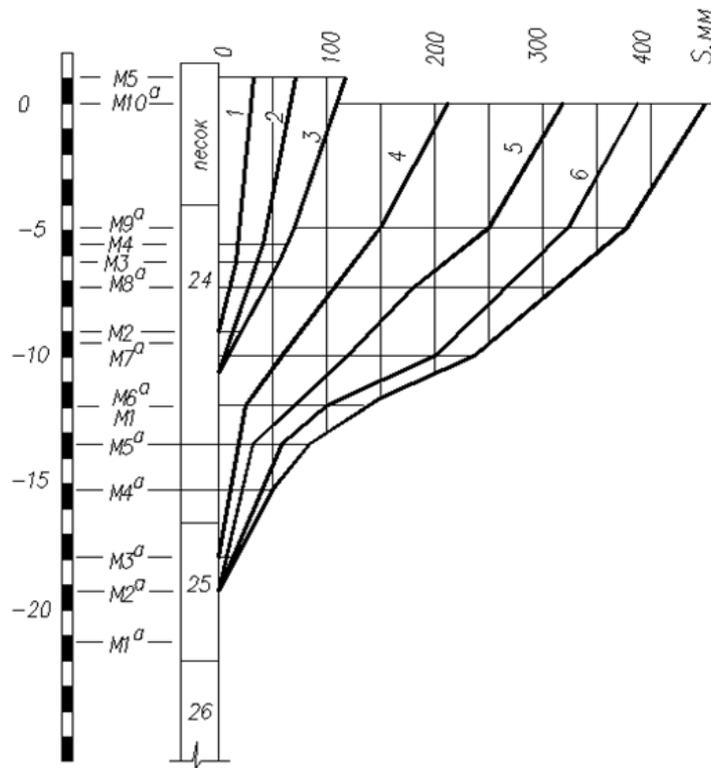


## Физические характеристики грунтов

- ИГЭ 22 Ig III  $\gamma=21.0 \text{ кН/м}^3$   $w=0.19$   $I_L=0.33$   $I_p=0.09$   $e=0.552$
- ИГЭ 22a Ig III  $\gamma=20.5 \text{ кН/м}^3$   $w=0.22$   $I_L=0.67$   $I_p=0.09$   $e=0.620$
- ИГЭ 23 Ig III  $\gamma=19.9 \text{ кН/м}^3$   $w=0.26$   $I_L=1.00$   $I_p=0.05$   $e=0.730$
- ИГЭ 24 Ig III  $\gamma=19.2 \text{ кН/м}^3$   $w=0.33$   $I_L=1.4$   $I_p=0.1$   $e=0.910$
- ИГЭ 25 Ig III  $\gamma=18.0 \text{ кН/м}^3$   $w=0.42$   $I_L=1.18$   $I_p=0.16$   $e=1.162$
- ИГЭ 25a Ig III  $\gamma=19.1 \text{ кН/м}^3$   $w=0.32$   $I_L=0.67$   $I_p=0.16$   $e=0.915$

**Осадки дренированного и недренированного оснований различаются почти на порядок**

# Послойные деформации грунтов основания полигонов №3 и 4

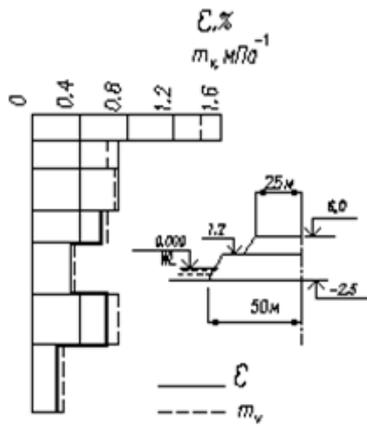
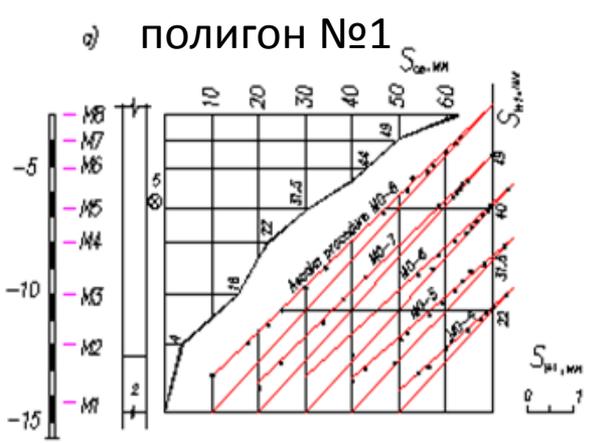


**Дренаживание слабых глинистых грунтов инициирует процесс фильтрационной консолидации.**

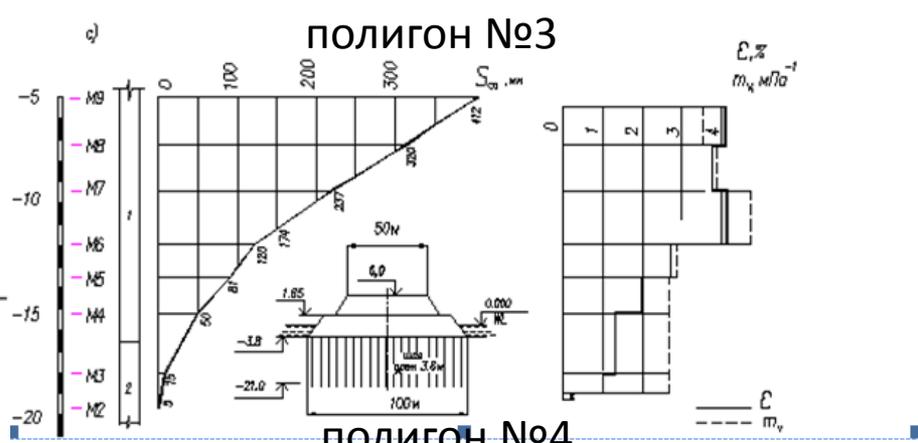
# Эпюры конечных осадок $S_{\infty}$ относительных деформаций и коэффициента относительной сжимаемости на опытных полигонах



а) полигон №1

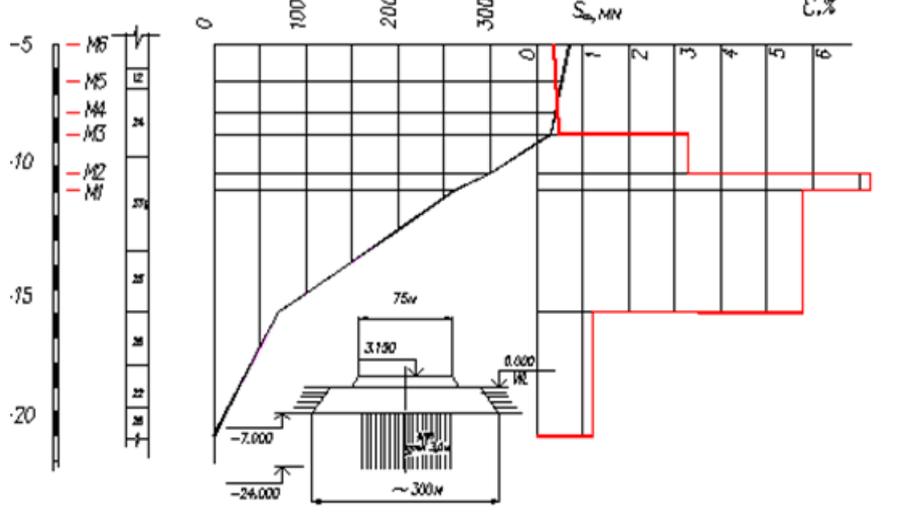
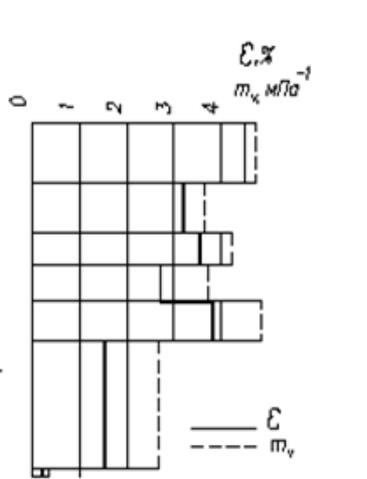
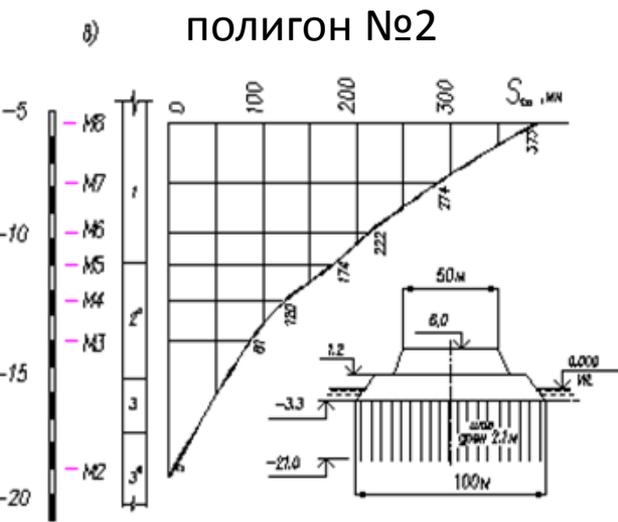


в) полигон №3



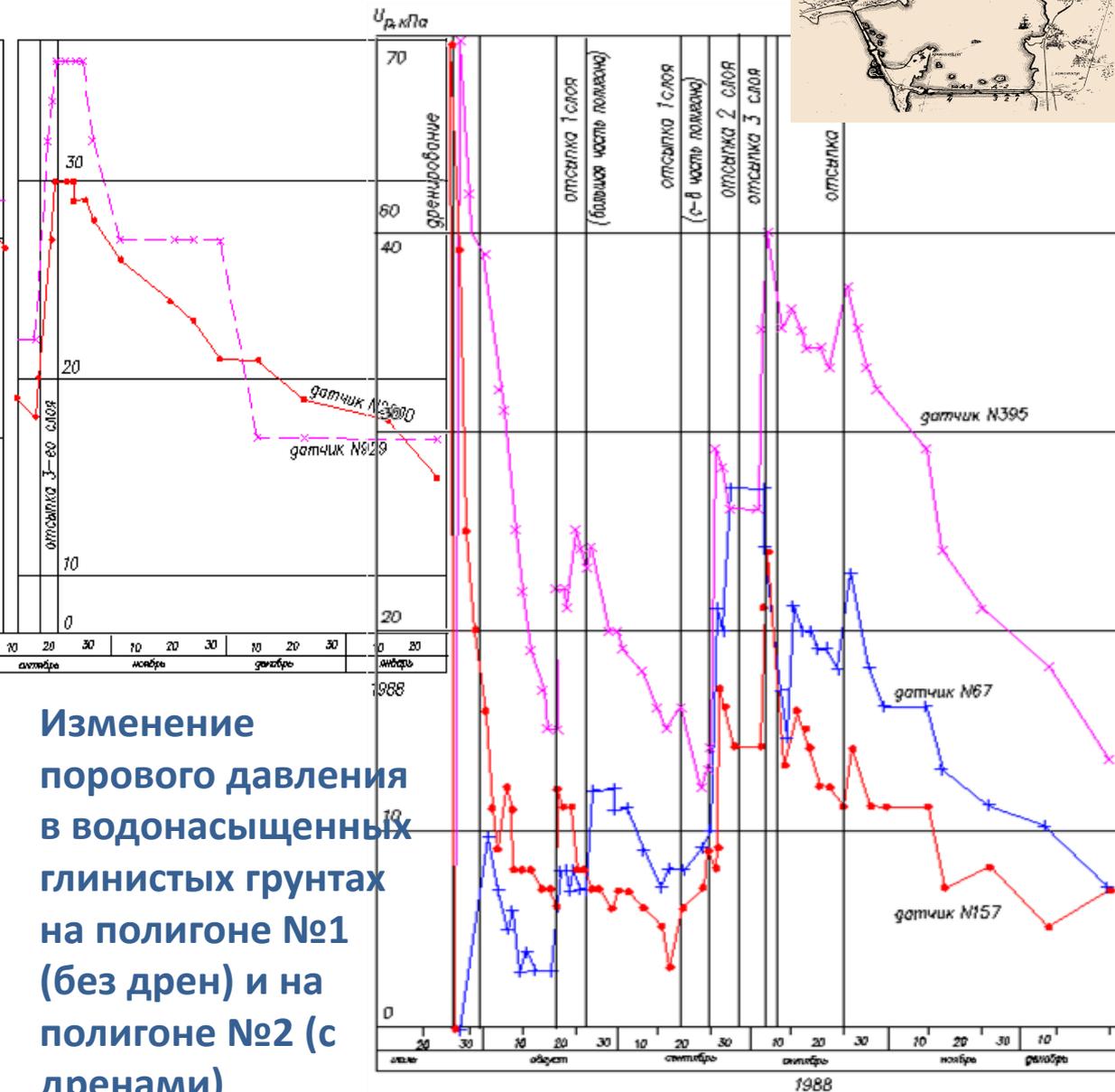
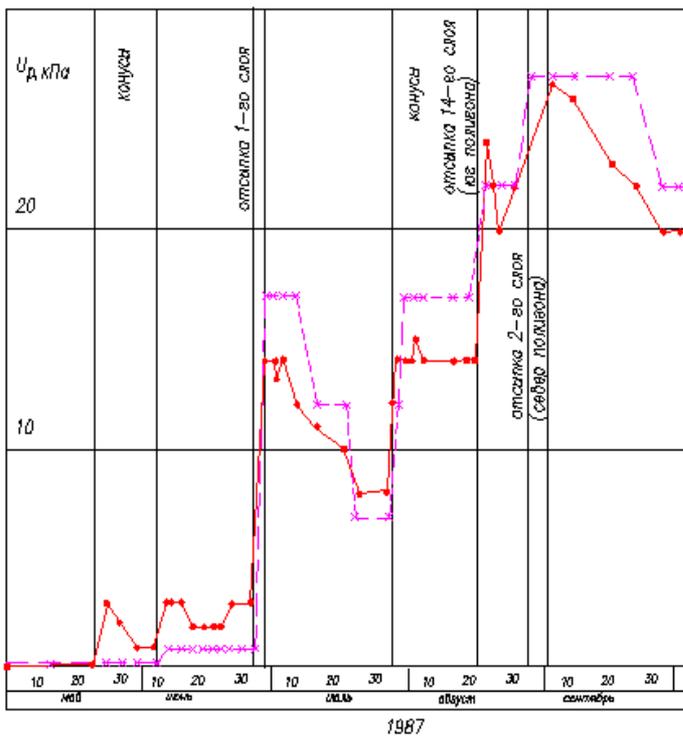
полигон №4

б) полигон №2



**Фильтрационная консолидация в недrenированном основании имеет локальное распространение под насыпью при наличии дренирующей поверхности.**

# Датчики порового давления



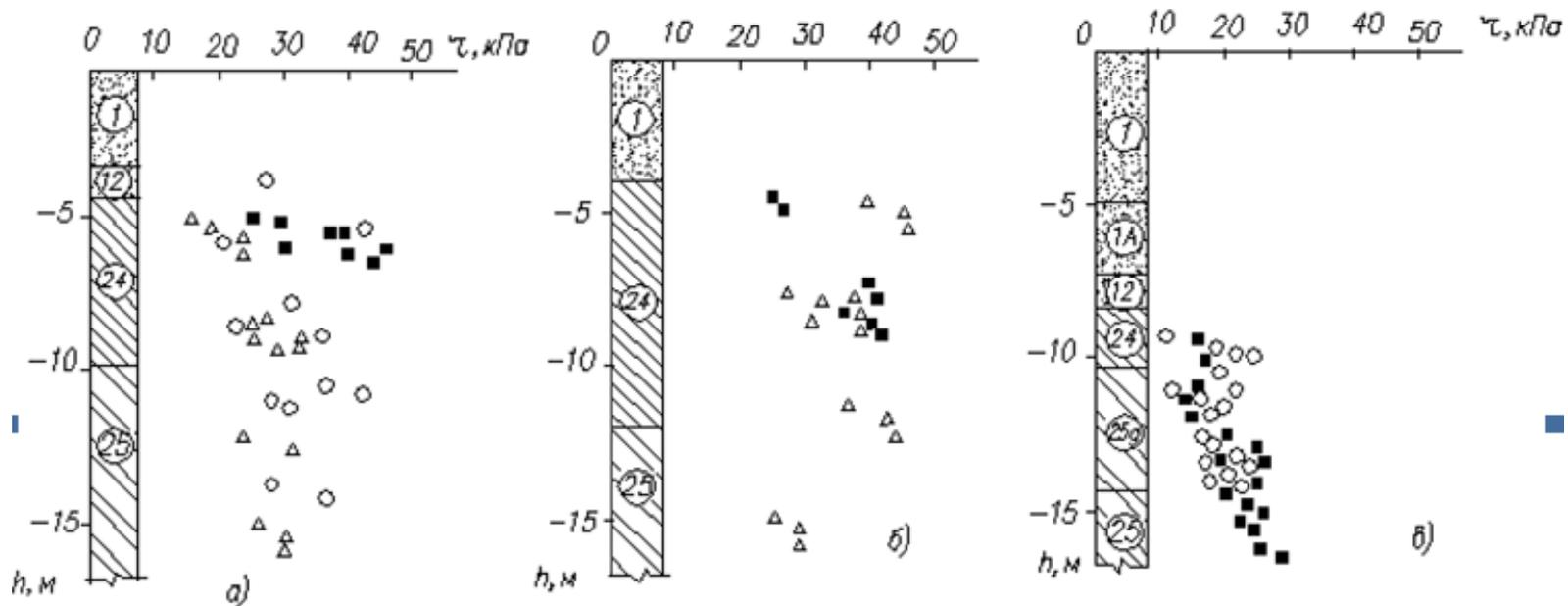
Изменение порового давления в водонасыщенных глинистых грунтах на полигоне №1 (без дрен) и на полигоне №2 (с дренами)

# Изменение сопротивления грунтов

сдвигу по глубине:

а) полигон №1; б) полигон №2;

в) полигон №4.

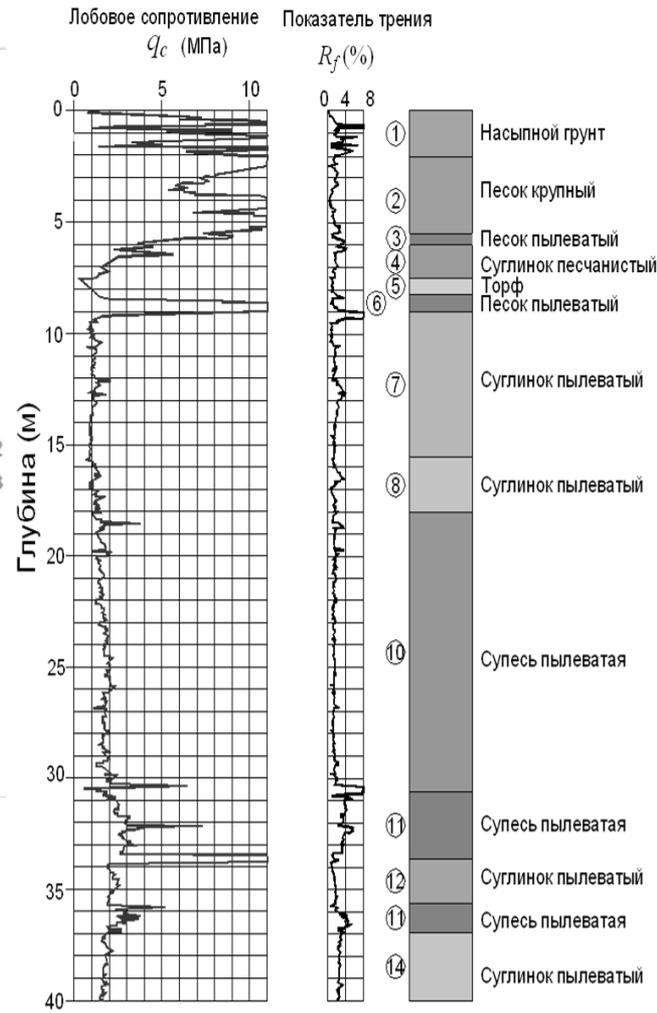
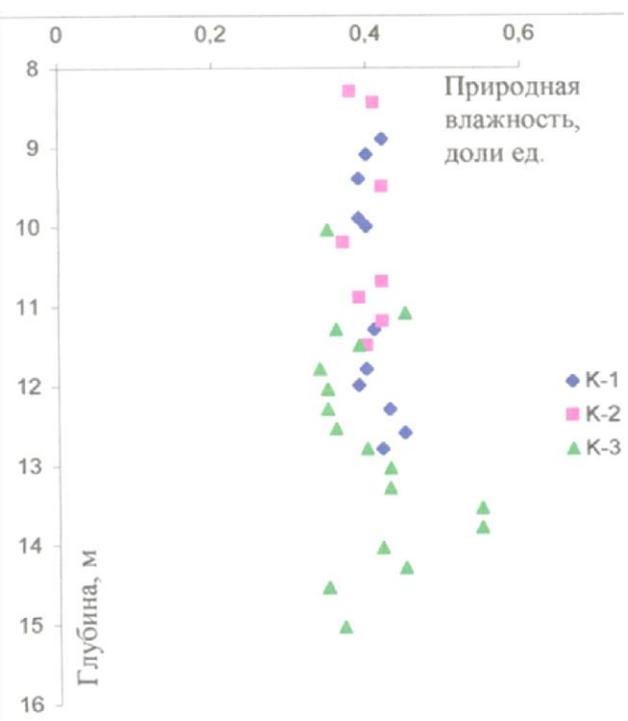
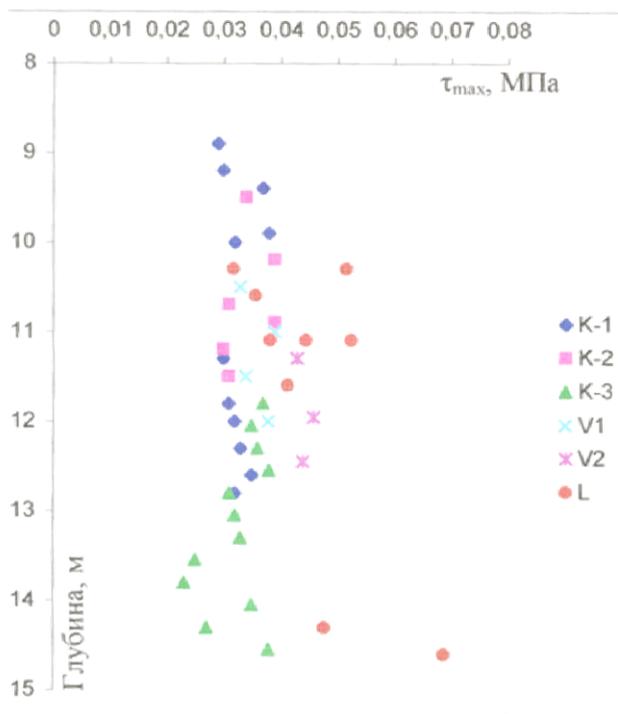


**Уплотнение грунта не означает его упрочнения. При консолидации прочностные свойства не претерпевают заметных изменений по сравнению с исходными значениями.**

- — серия испытаний до пригрузки и дренирования
- — то же после дренирования и пригрузки
- △ — то же после стабилизации осадок

# Результаты определения предельного сопротивления грунтов сдвигу и влажности

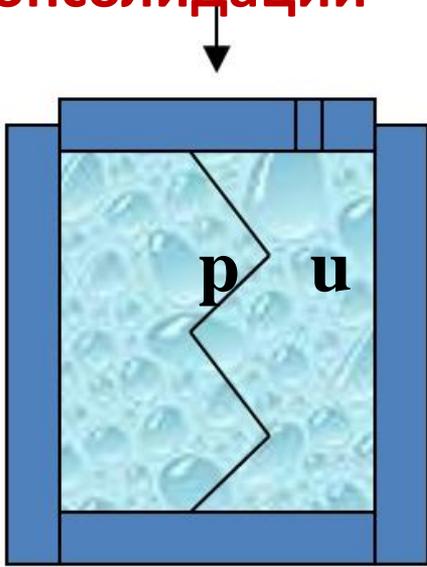
# Мониторинг консолидации слабых глинистых грунтов и теория фильтрационной консолидации



**Прочностные свойства глинистых отложений характеризуются отсутствием тенденции к увеличению с глубиной в пределах инженерно-геологического элемента.**

Теория фильтрационной консолидации: развитие деформаций во времени водонасыщенного грунта определяется преимущественно процессом отжатия воды

## Модель теории фильтрационной консолидации

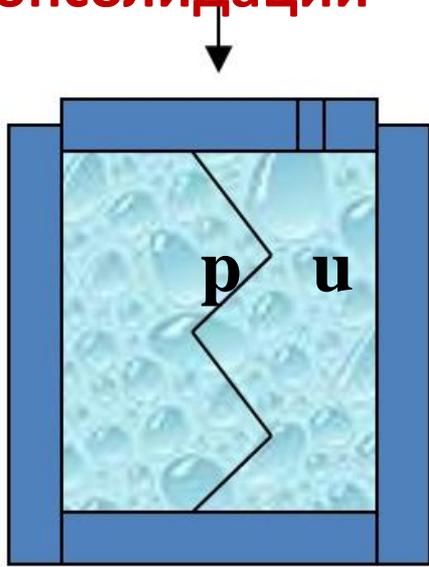


$$\sigma = p + u$$

При  $t = 0$  все  
давление  
передается на  
воду:  $u = \sigma$ .

# Теория фильтрационной консолидации: развитие деформаций во времени водонасыщенного грунта определяется преимущественно процессом отжатия воды

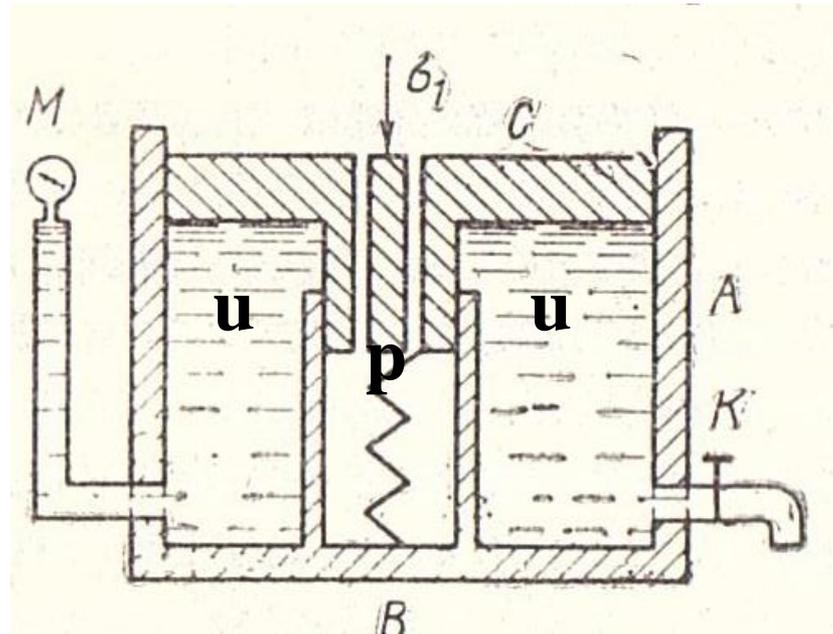
## Модель теории фильтрационной консолидации



$$\sigma = p + u$$

При  $t = 0$  все давление передается на воду:  $u = \sigma$ .

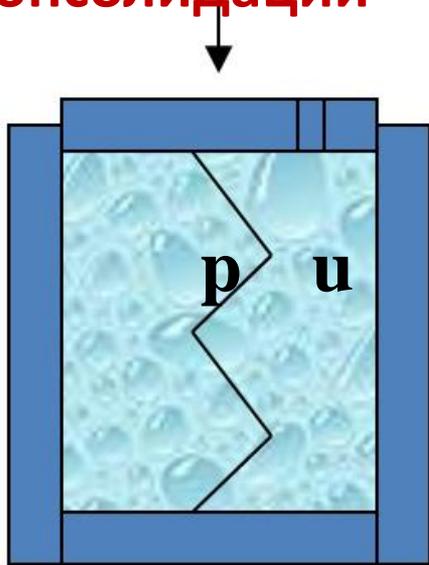
## Модель Н.Я.Денисова



$$\sigma = p(1-n) + u n$$

# Теория фильтрационной консолидации: развитие деформаций во времени водонасыщенного грунта определяется преимущественно процессом отжатия воды

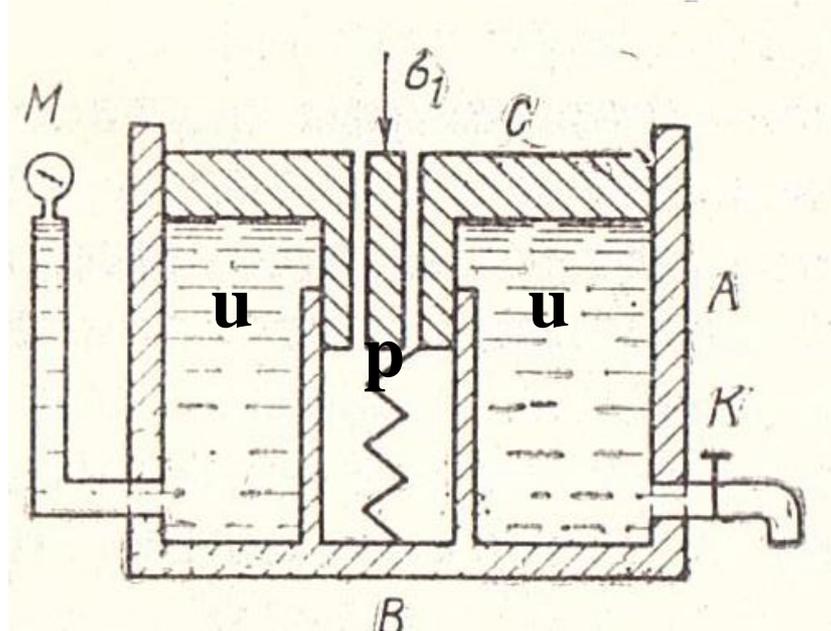
## Модель теории фильтрационной консолидации



$$\sigma = p + u$$

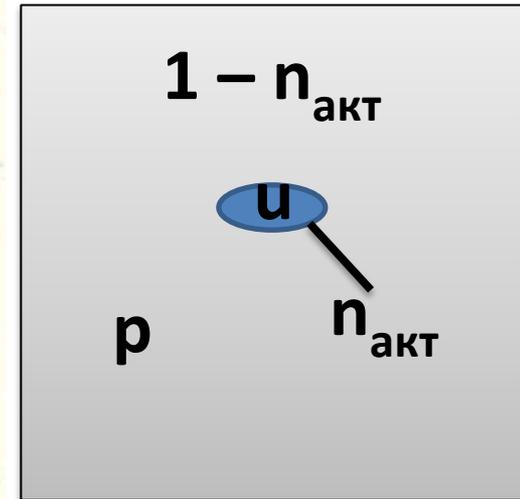
При  $t = 0$  все давление передается на воду:  $u = \sigma$ .

## Модель Н.Я.Денисова



$$\sigma = p(1-n) + u n$$

## Модель с учетом активной пористости

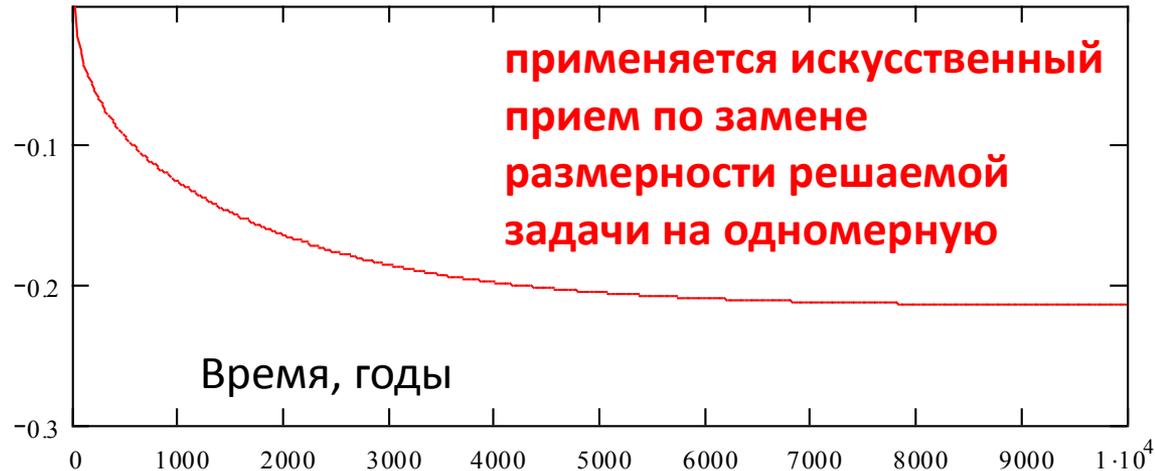
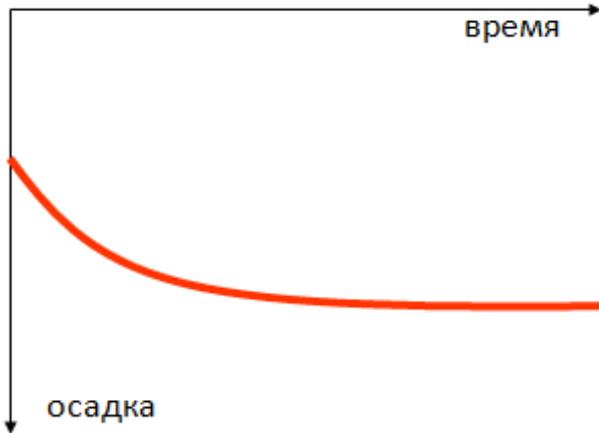
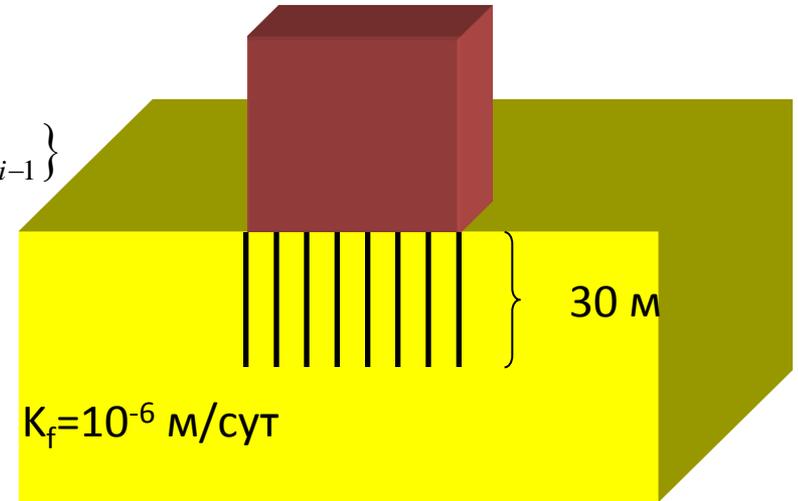
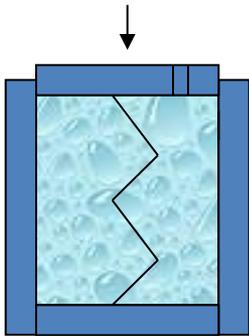


$$\sigma = p(1 - n_{\text{акт}}) + u n_{\text{акт}}$$

При  $t = 0$   $u = \sigma$ . Все давление и в этом случае передается на воду?

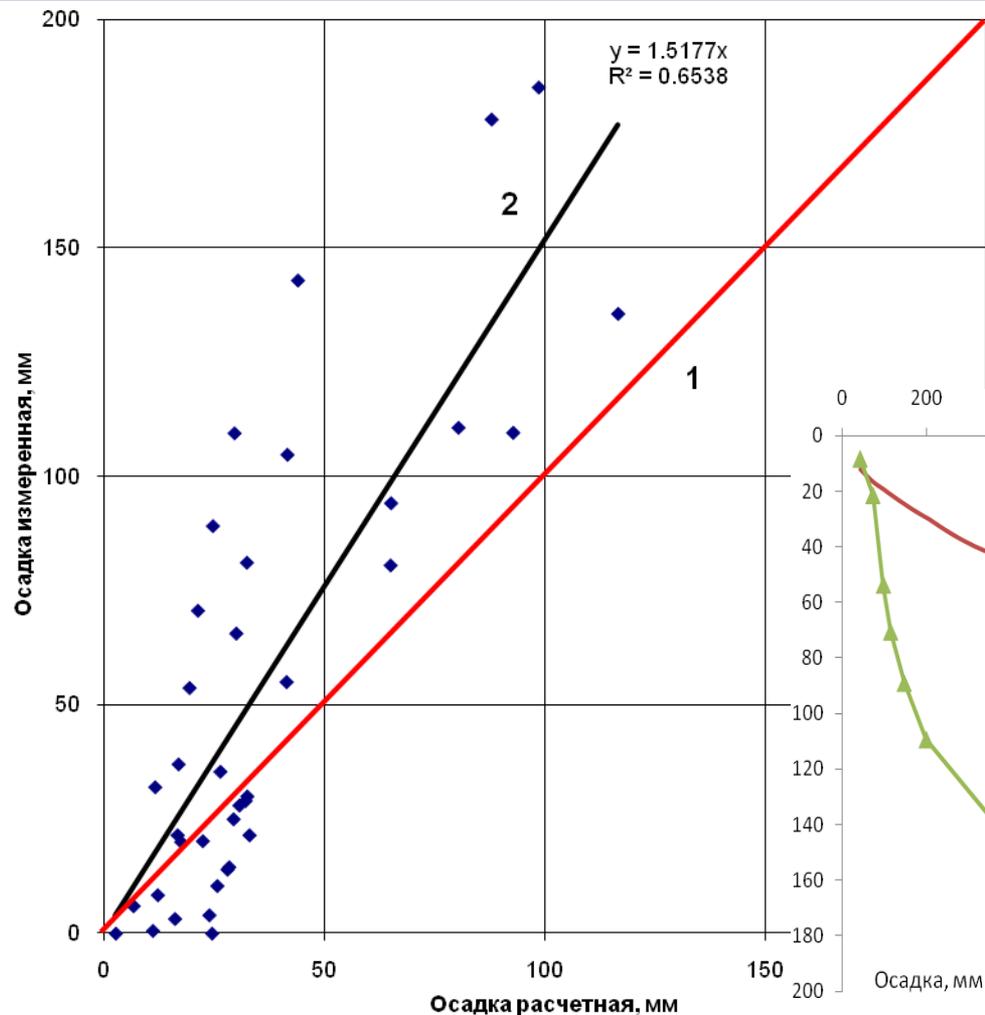
# Фильтрационная консолидация

$$\begin{cases} [K]\{\Delta u\} + [C]\{p_i\} = \{\Delta f\} + [C]\{p_{i-1}\} \\ [C]^T \{\Delta u\} - \Delta t [K_f]\{p_i\} - \frac{n}{K_w} [E]\{p_i\} = -\frac{n}{K_w} [E]\{p_{i-1}\} \end{cases}$$



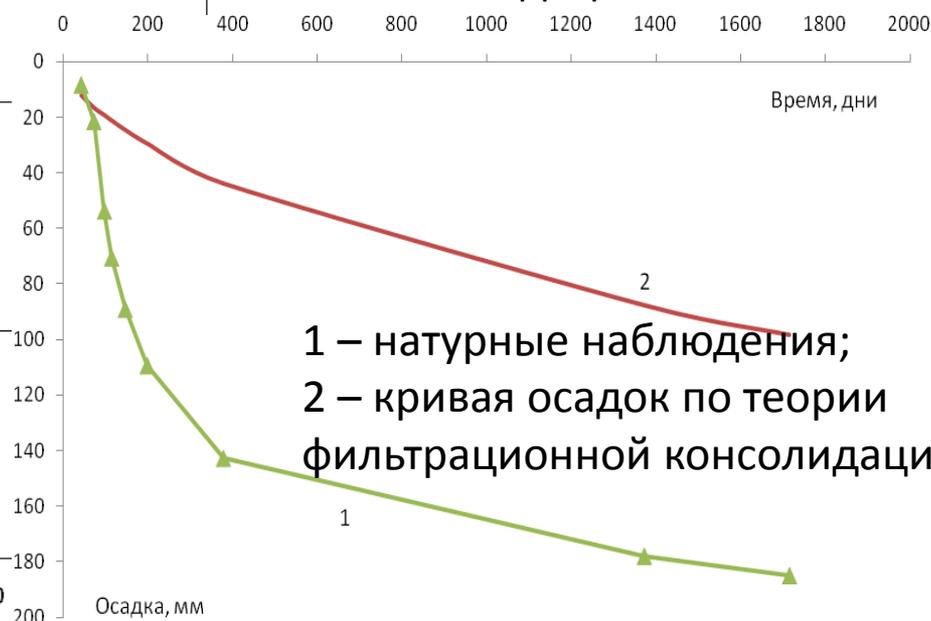
**при решении плоских и пространственных задач теории фильтрационной консолидации проявляется псевдоэффект скачкообразного прироста осадок в начальный момент времени**

# Сопоставление результатов расчета с данными натуральных наблюдений за осадками



1 – прямая идеального совпадения расчетных и наблюдаемых осадок;

2 – расчет по методу послойного суммирования с учетом фильтрационной консолидации.



1 – натурные наблюдения;  
2 – кривая осадок по теории фильтрационной консолидации

# Границы и критерии применимости теории фильтрационной консолидации

Маслов Н.Н. (1941, 1977)  $n=2$   $T = t \left( \frac{H}{h} \right)^n$   $l \geq 1,0$   $W \geq W_L$

Н. А. Цытович (1964)  $W \geq W_L$

Тер-Мартirosян З.Г.(1990)  $S_r > 0,7 - 0,8$   $S_r = W/W_{sat}$   $W > (0,7 - 0,8)W_{sat}$   
 $W_{sat}$  - полная влагоемкость  $K \geq 10^{-2} \dots 10^{-3} \text{ м/сут}$

Ю. К. Зарецкий (1988)  $W > W_{MM} = W_p$

$W_{MM}$  - макс. мол. влагоемкость;  $W_p$  - влажность на границе раскатывания

А. И. Ксенофонтов (1962), А. Л. Гольдин (1973).  $K > 10^{-3} \text{ м/сут.}$

С. А. Роза (1959), Б. Ф. Рельтов (1956)  $i_0$

Флорин В.А.(1961), Н. Н. Маслов (1982)  $i > i_0$

С. Хансбо (1960)  $v_f = \lambda i^m$

Р. Э. Дашко (1982)  $I > I_0$   $I_0 = A \sqrt{M_c}$

+

Степень литификации

Значения коэффициента  $A$  для разности пород

Породы

Пылеватые

Непылеватые

Малая

70 – 100

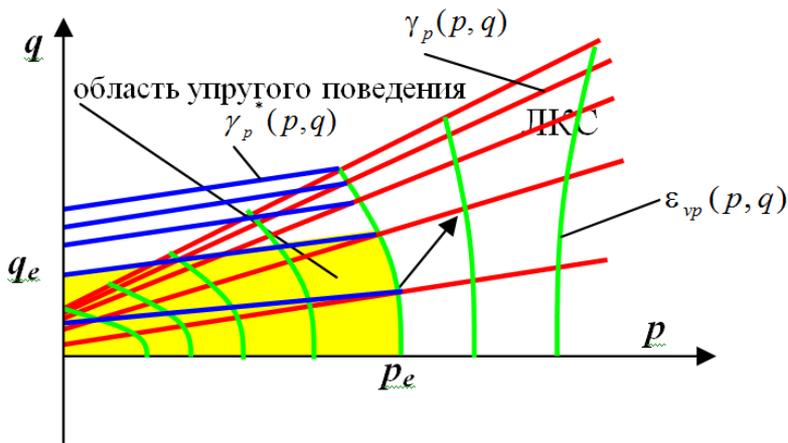
50 – 70

Средняя

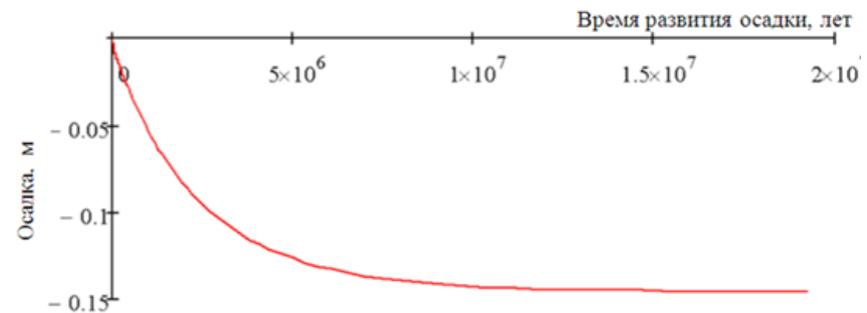
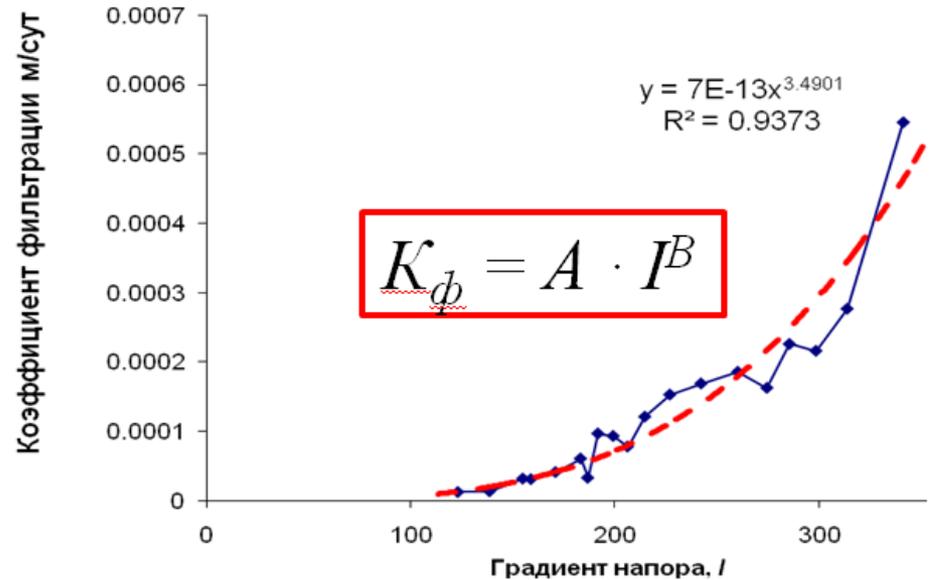
120 – 150

100 – 120

# Вязкопластическая модель грунта



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



Деформации объема: учет нелинейной зависимости коэффициента фильтрации от градиента напора

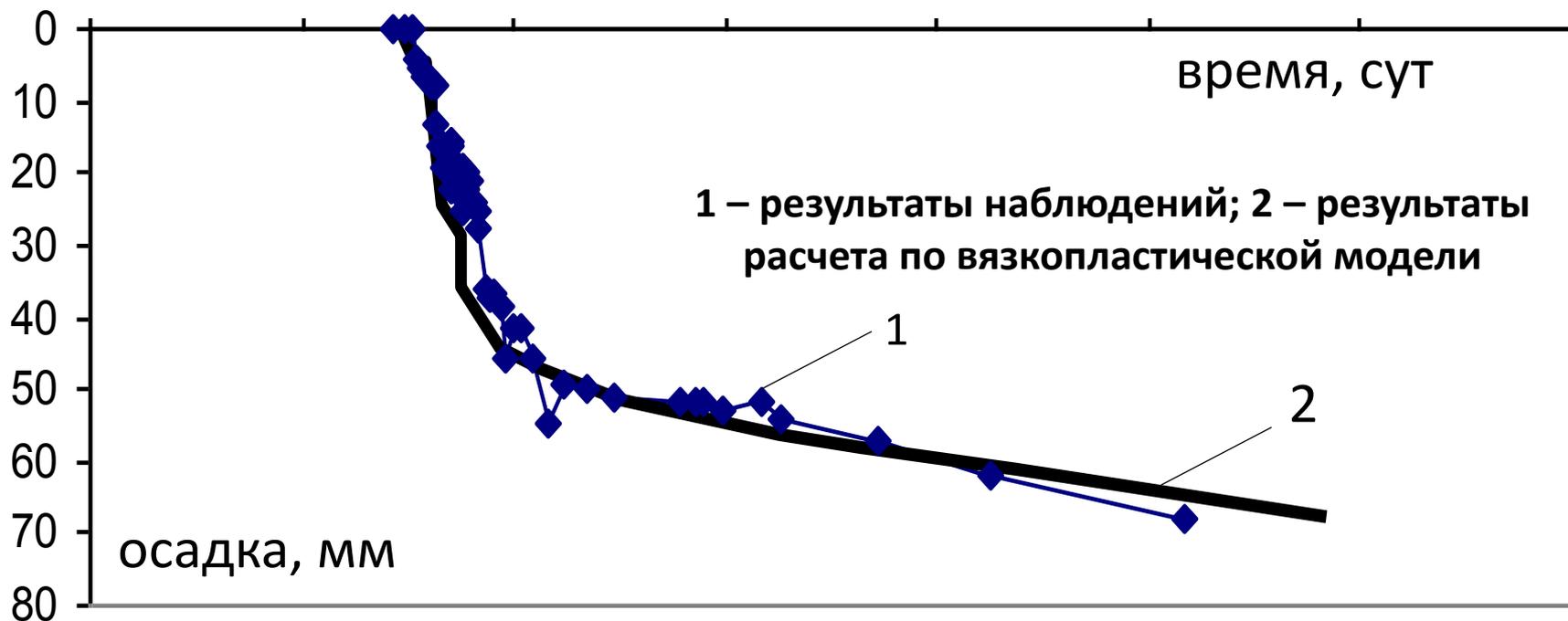
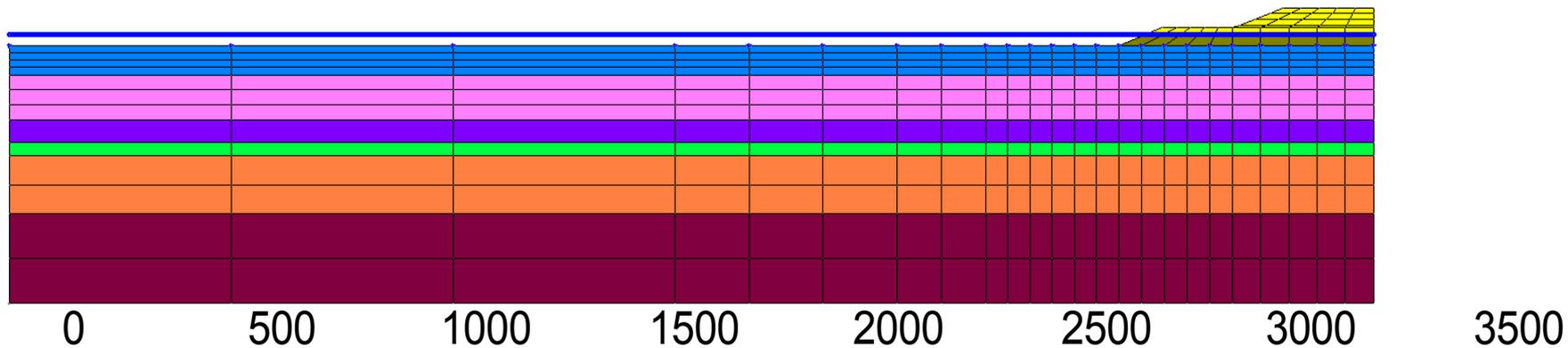


График развития осадок во времени на опытном полигоне №1

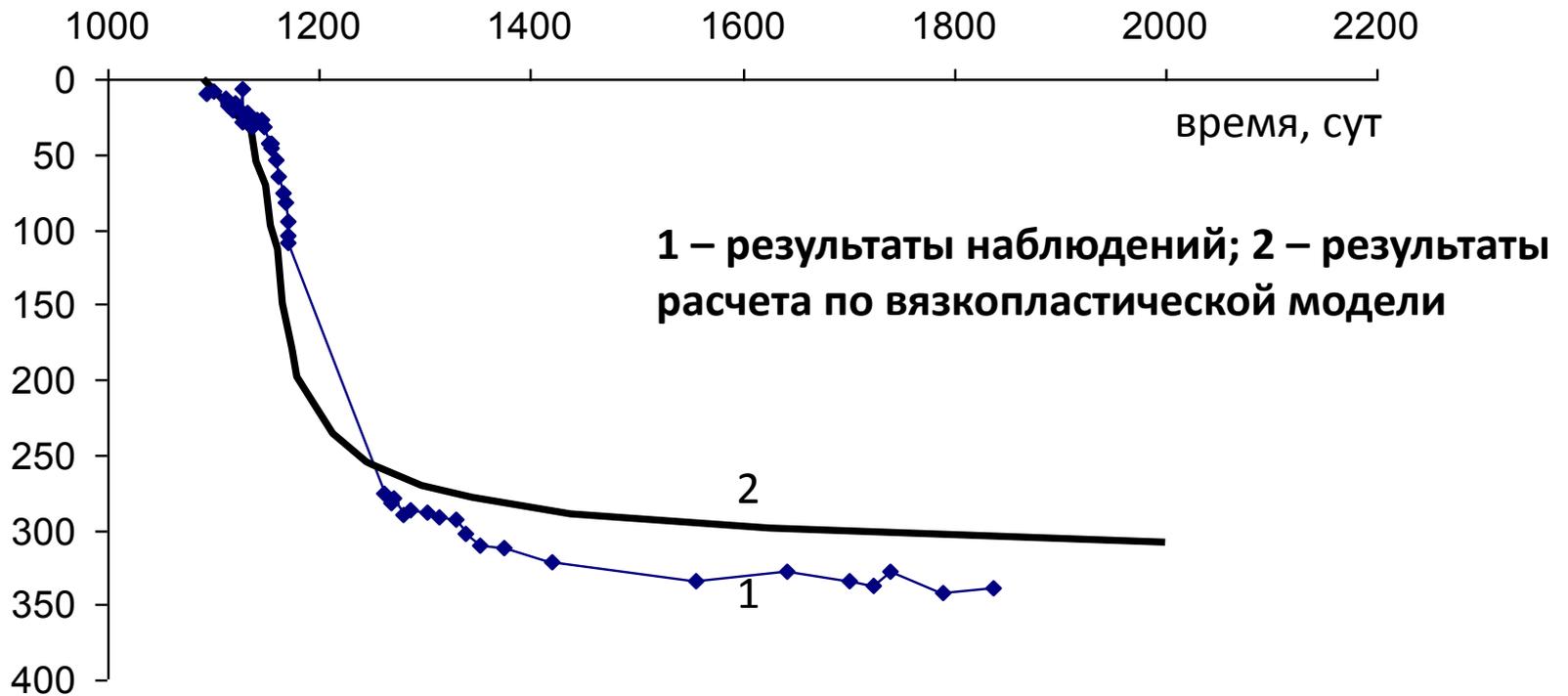
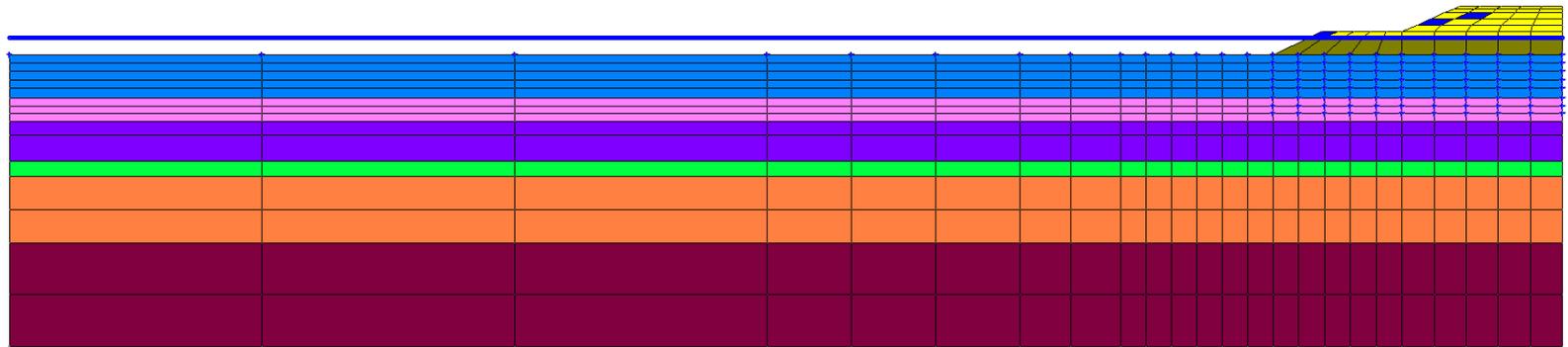
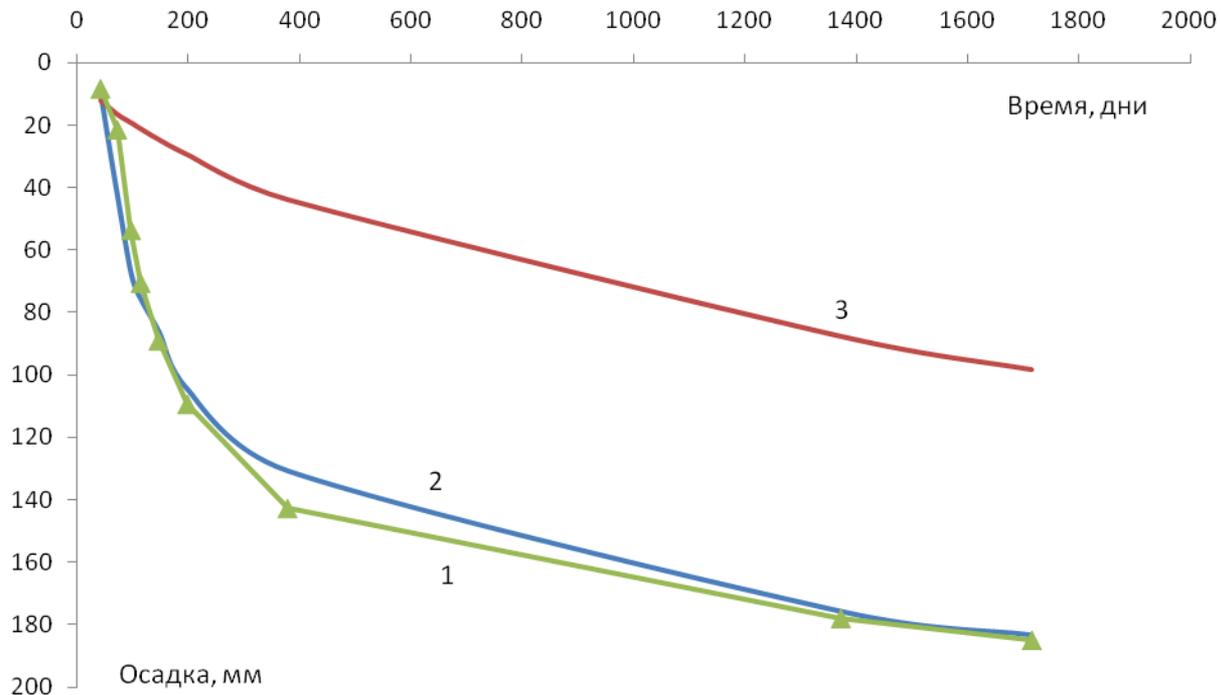


График развития осадок во времени на опытном полигоне №2

# Пример сопоставления результатов расчетов и данных натурных наблюдений для здания на свайных фундаментах



1 – натурные наблюдения; 2 – численный расчет по вязкопластической модели; 3 – кривая осадок по теории фильтрационной консолидации

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

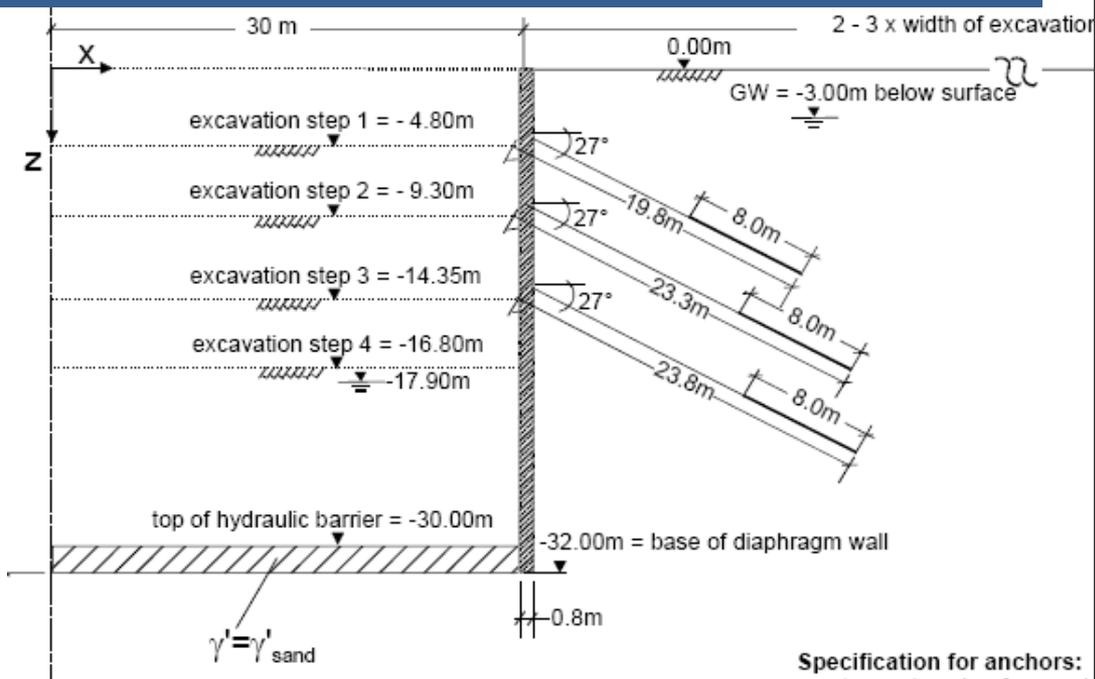
1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства. Часть 3. Устройство глубоких котлованов
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

# Расчет глубоких котлованов

## Тестовая задача – котлован в Берлине

## Результаты расчетов 17 групп исследователей



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

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

$$\varphi = 35^\circ$$

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

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

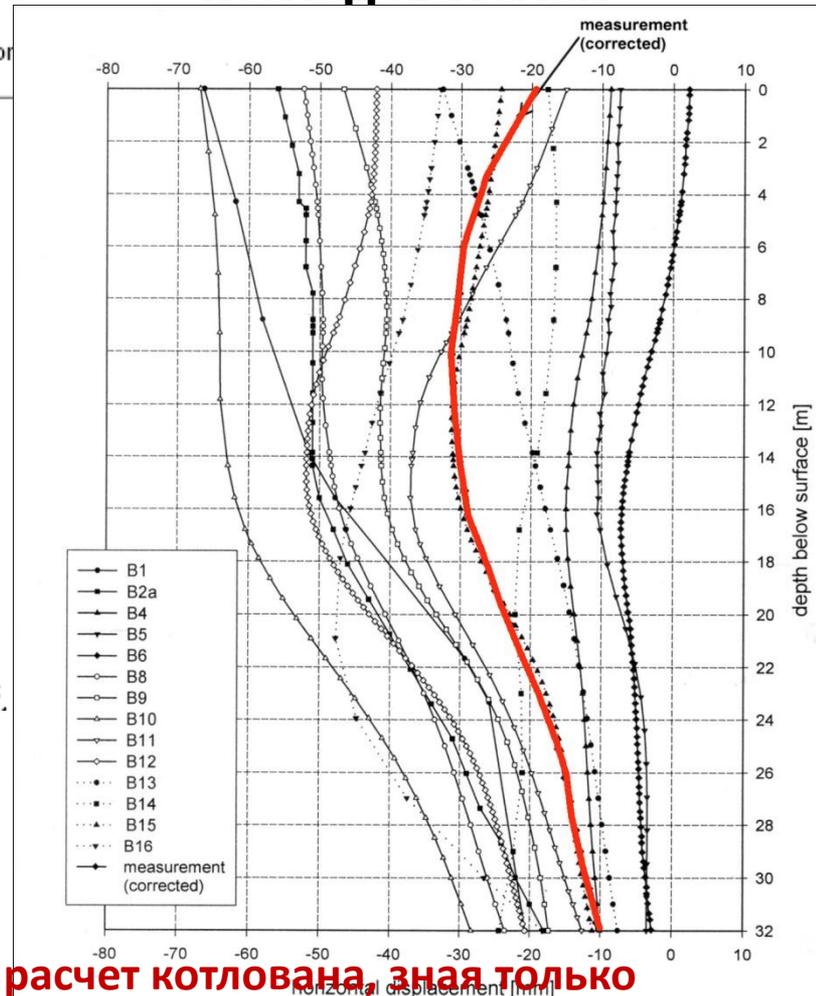
$$K_0 = 1 - \sin \varphi$$

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

for  $z > 20 \text{ m}$

(medium dense)

Specification for anchors:



**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**

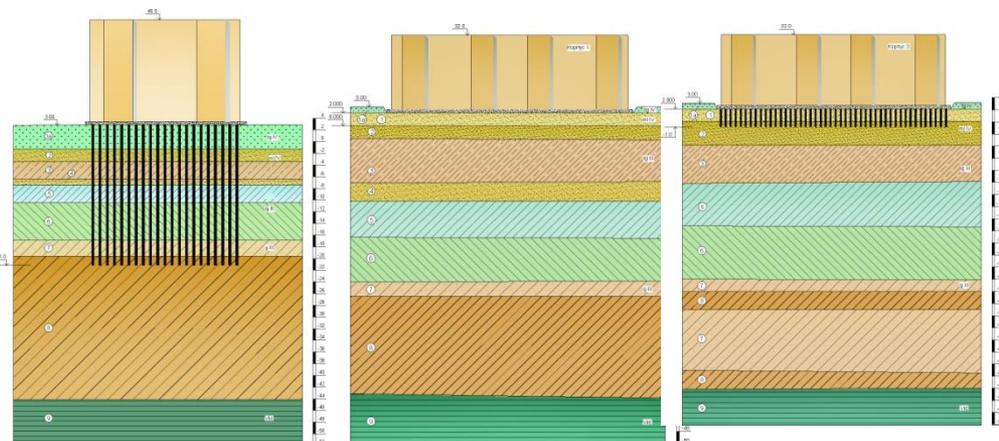
Стратиграфический индекс	ИГЭ	Номенклатура грунта	Природная влажность $W_e$	Показатель текучести $I_L$	Коэффициент пористости $e$	Плотность $\rho / \text{см}^3$			Угол внутреннего трения $\varphi$			Удельное сцепление $c$ , МПа			Модуль общей деформации $E$ , МПа
						норм.	I	II	норм.	I	II	норм.	I	II	
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, неясносплоистые, 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?**

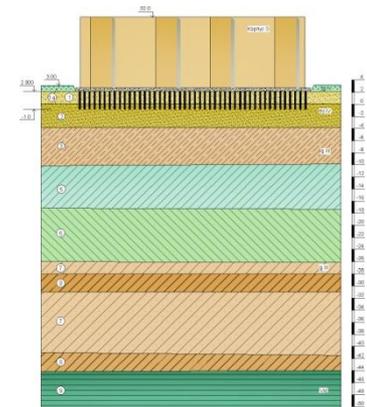
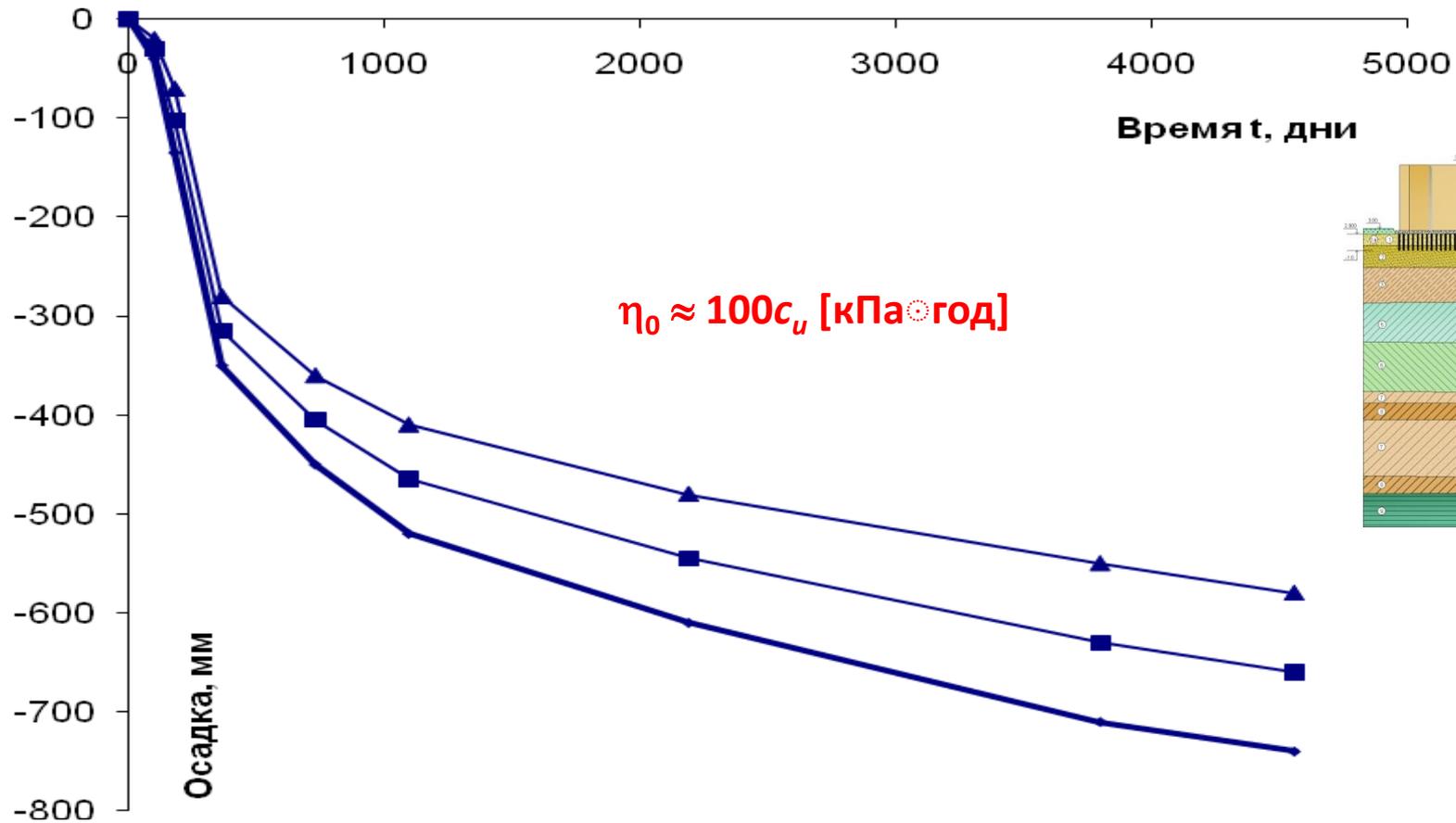
## При проектировании подземных сооружений в условиях водонасыщенных глинистых грунтов необходимо учитывать:

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. Конечную осадку для котлованов определять бессмысленно.
4. 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.
5. Модель грунта должна правильно описывать результаты лабораторных испытаний хотя бы в рассматриваемом диапазоне напряжений
6. Модель грунта должна быть апробирована на данных натурных наблюдений

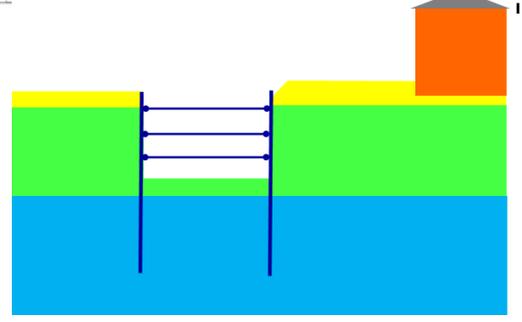
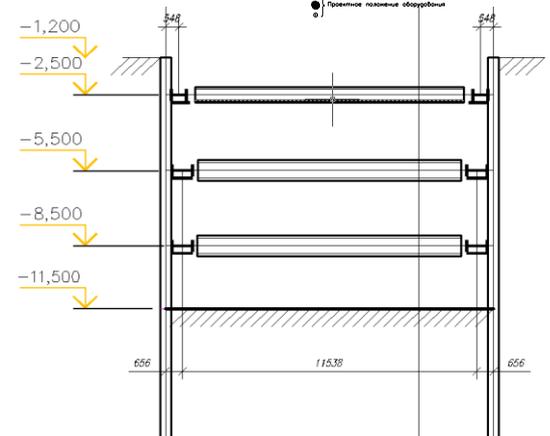
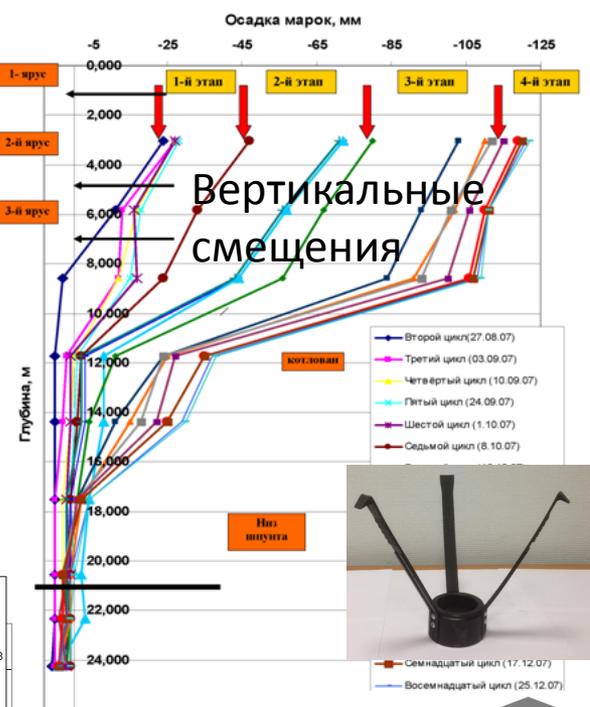
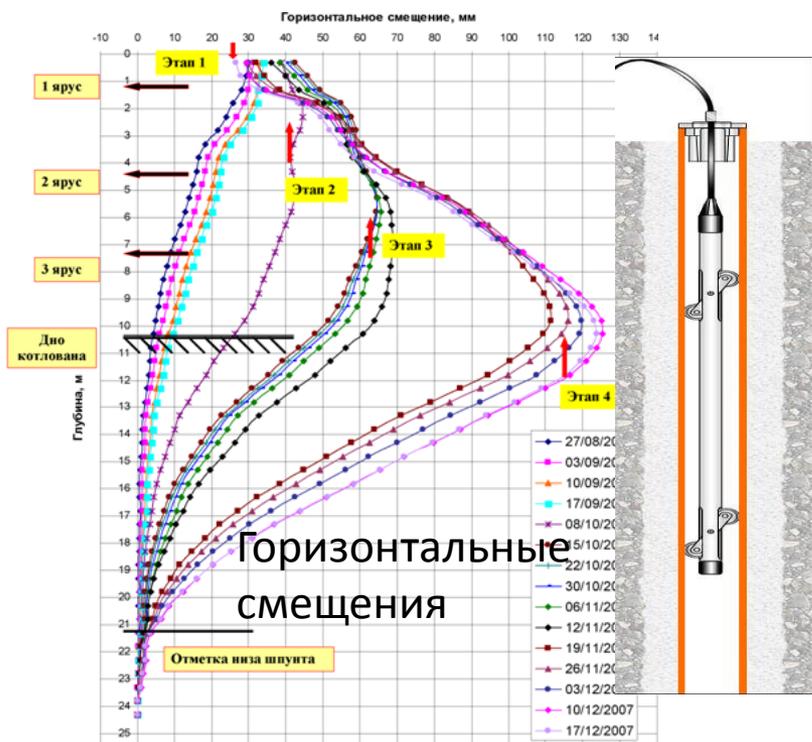
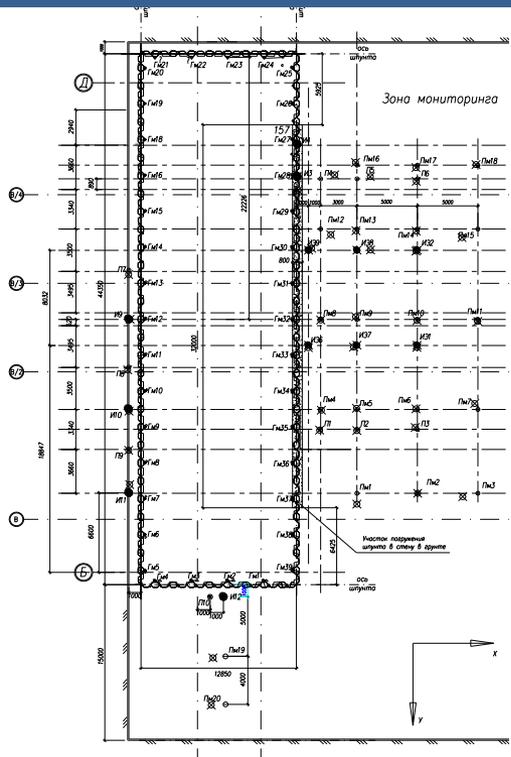
# Наблюдения за развитием осадок (К.Г.Шашкин и др. 2006 г, 13 объектов длительность наблюдений 2...11 лет)



# Развитие осадок жилого дома на Васильевском острове в Санкт-Петербурге (по маркам)



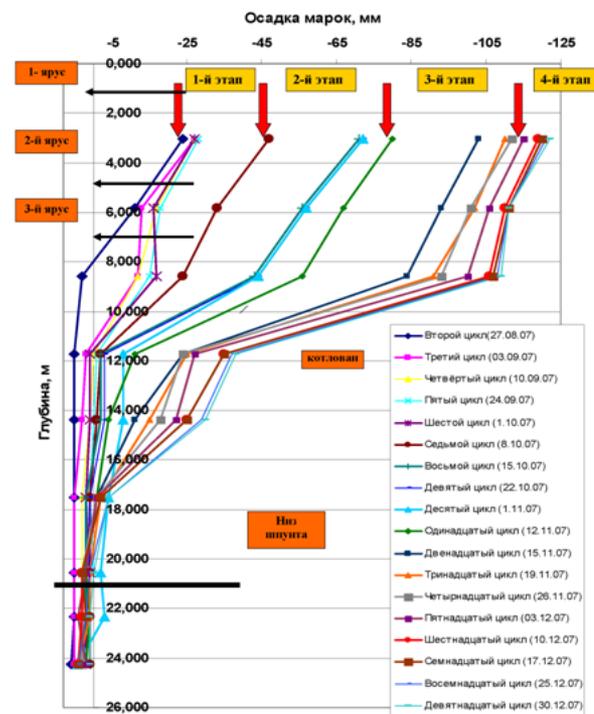
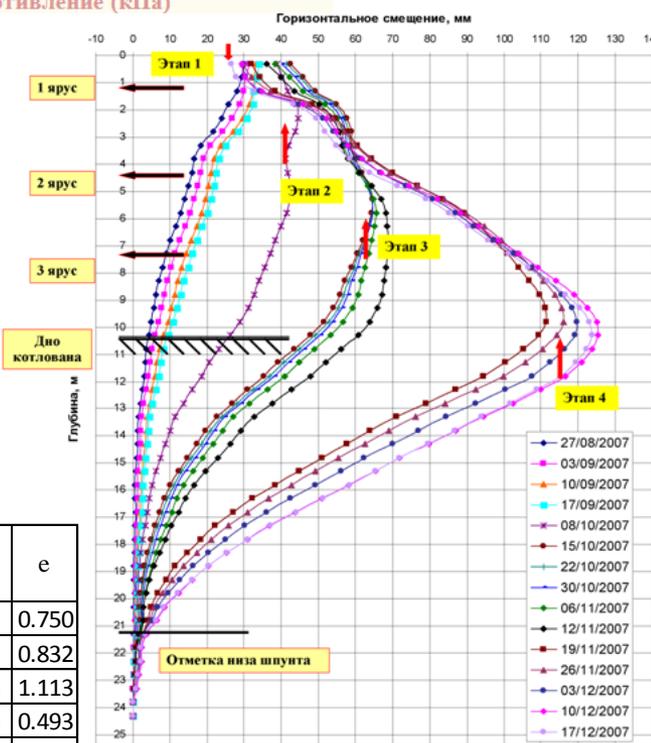
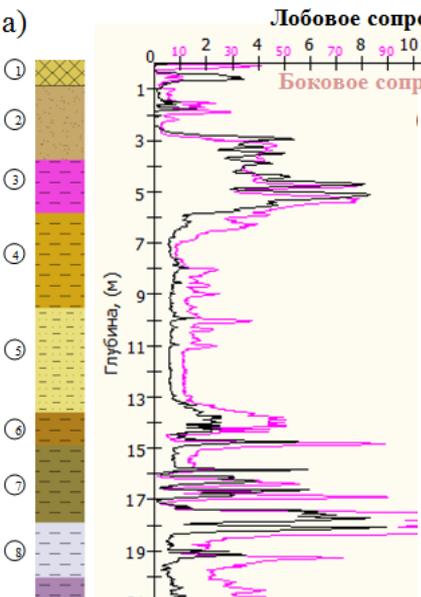
# Пример мониторинга массива грунта при устройстве глубоких котлованов



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



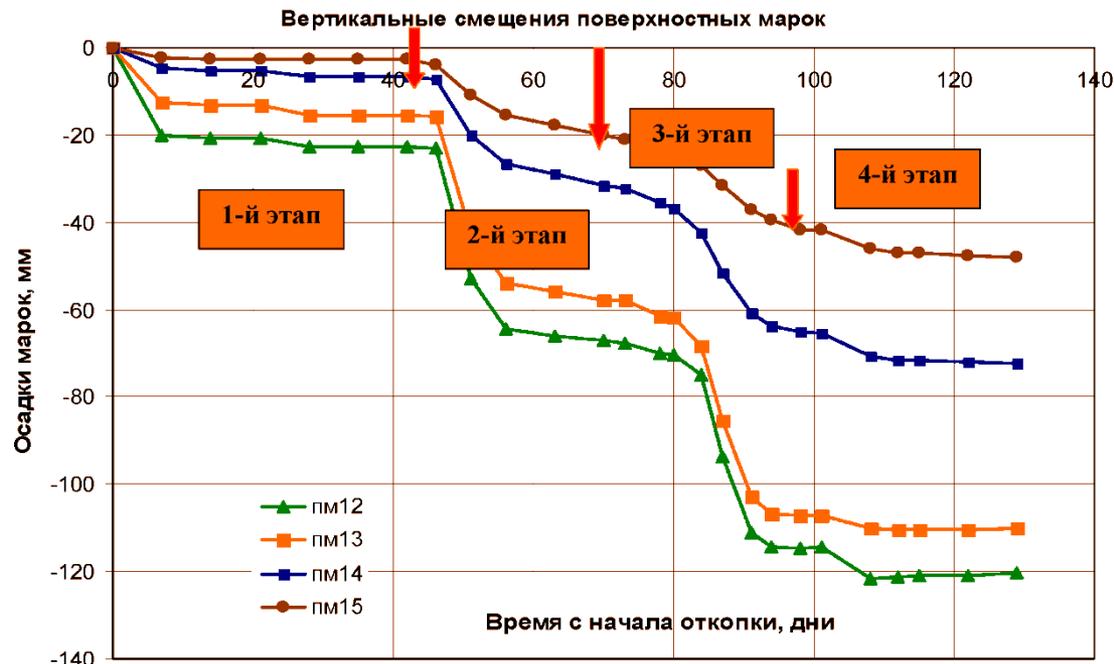
**Наибольшие горизонтальные смещения ограждения котлована происходят ниже уровня откопки**



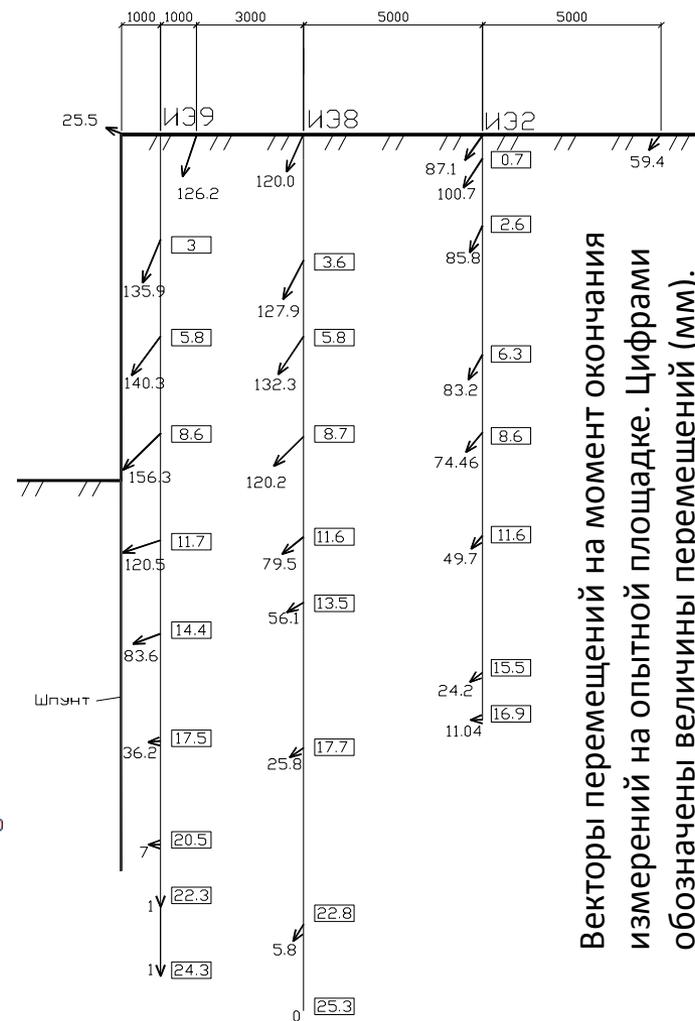
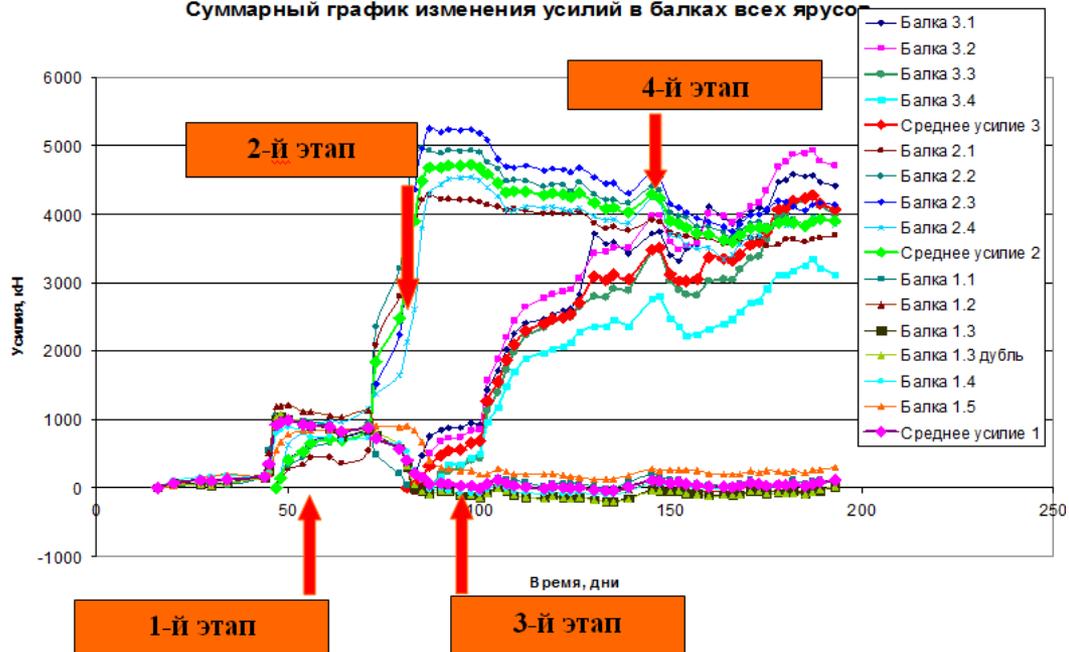
Геоол. индекс	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	w	$I_L$	$I_p$	e
2	ml IV	19.4	-	-	0.750
3		19.3	0.3	1.1	0.832
4	lg III	18.2	0.4	1.14	1.113
5	gIII	21.3	0.18	0.64	0.493
6		20.8	0.21	0.41	0.572
7		21.5	0.17	0.24	0.471
8	$V_{2kt2}$	21.1	0.19	-0.2	0.554
9		21.8	0.15	-0.5	0.454

Графики развития горизонтальных смещений (мм)

Графики развития осадок (мм) глубинных марок

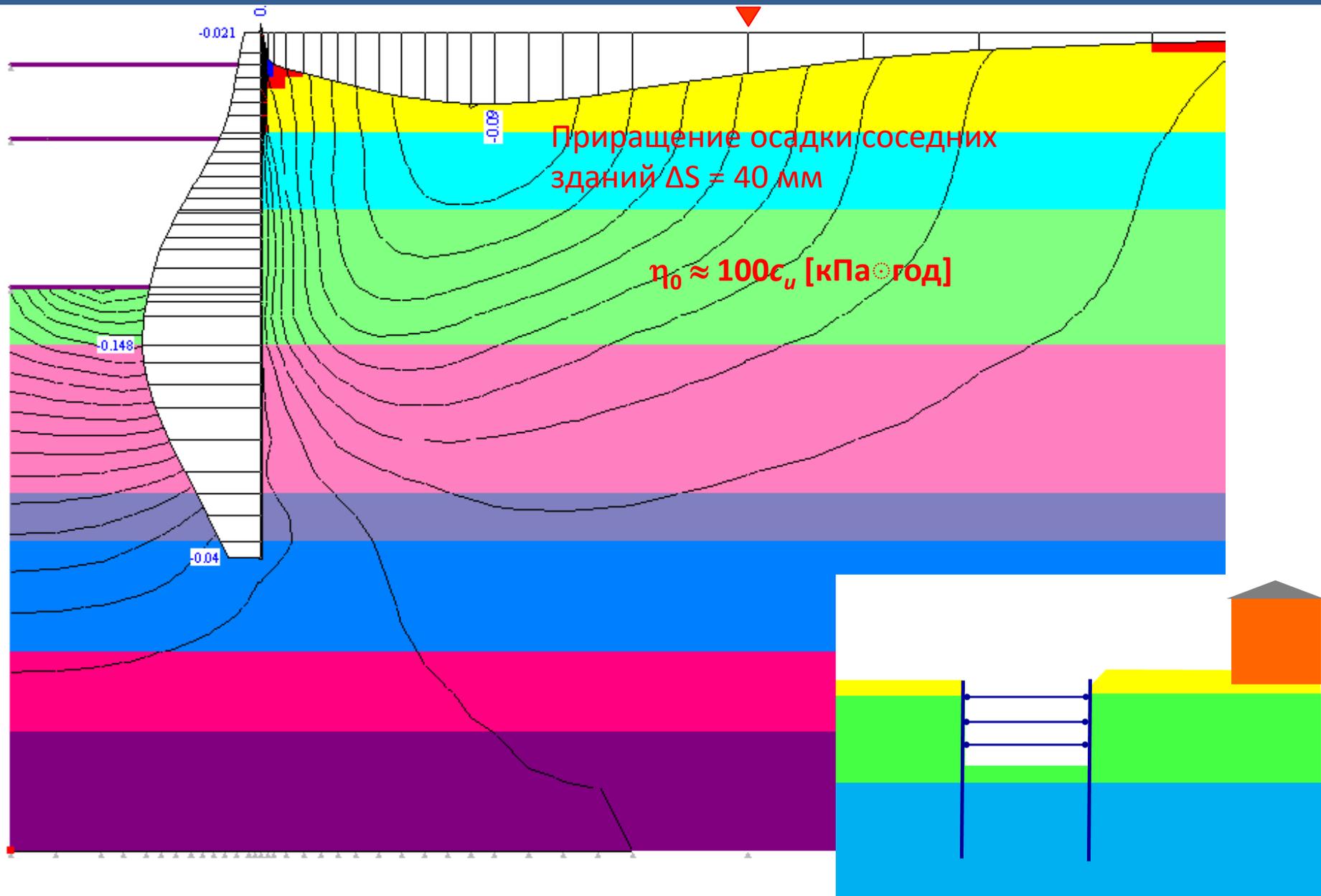


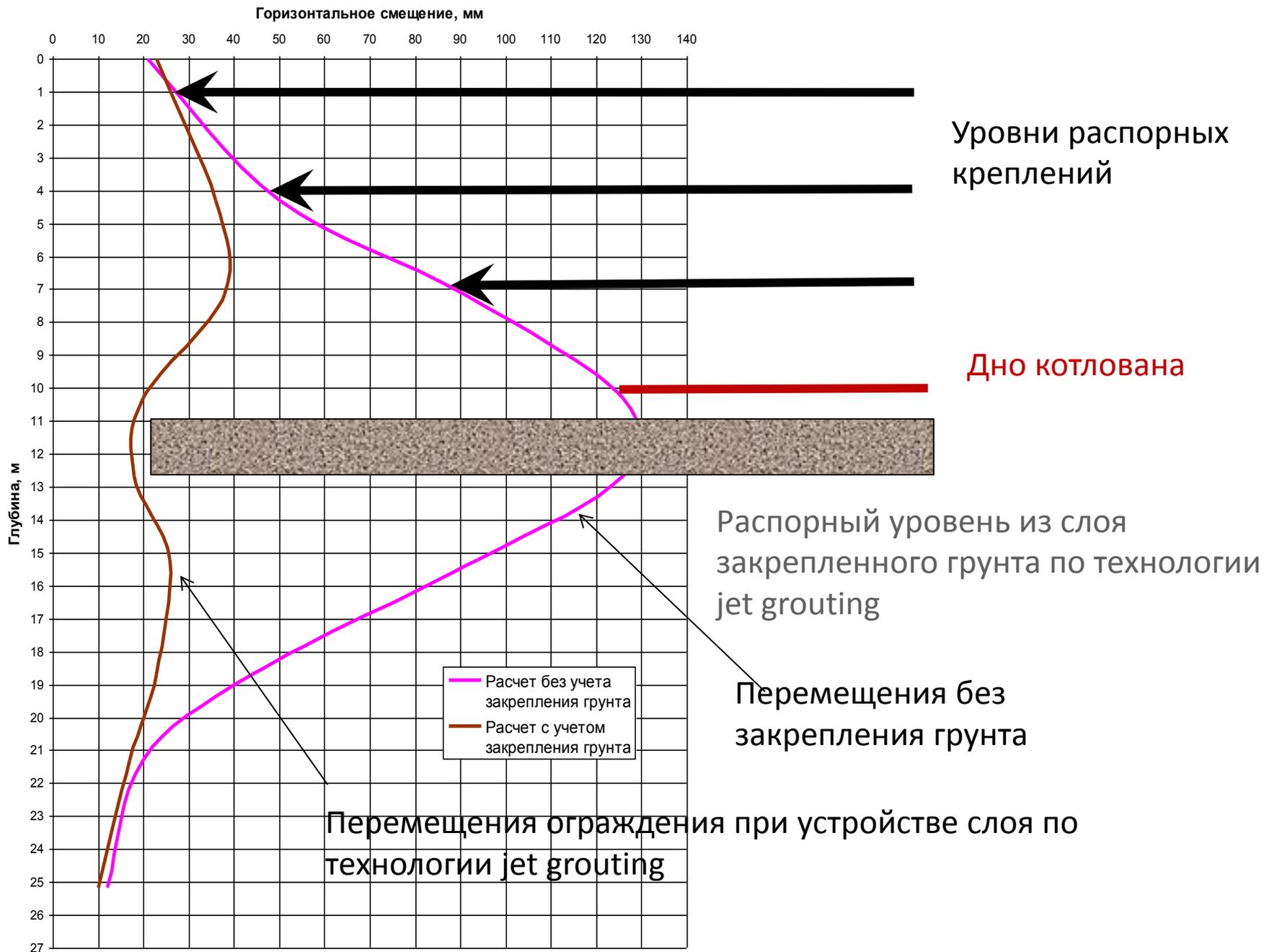
### Суммарный график изменения усилий в балках всех ярусов



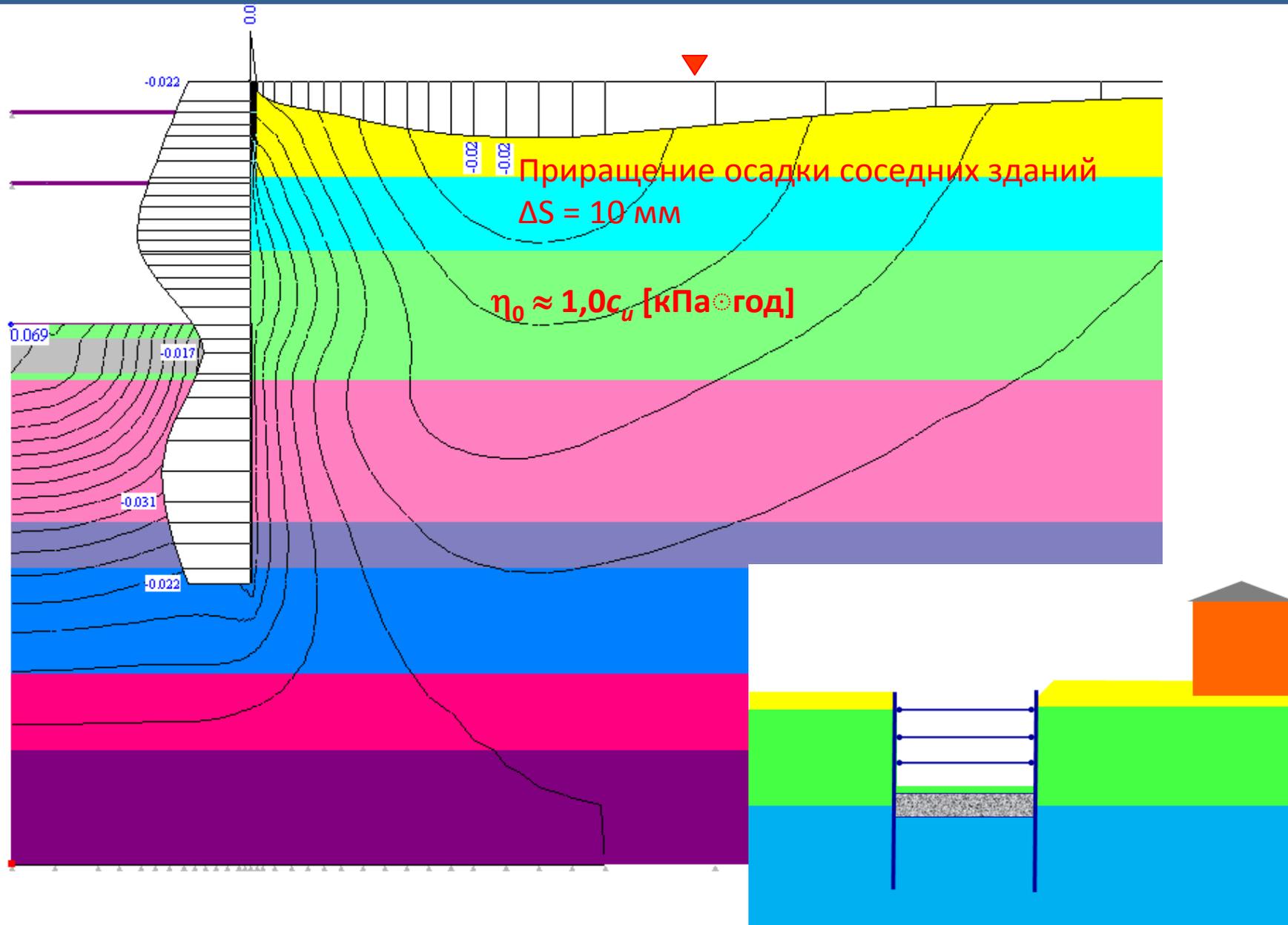
Векторы перемещений на момент окончания измерений на опытной площадке. Цифрами обозначены величины перемещений (мм). Цифрами в рамке обозначены глубины точек, в которых построены векторы (м)

# Моделирование перемещения ограждения котлована с помощью вязкопластической модели

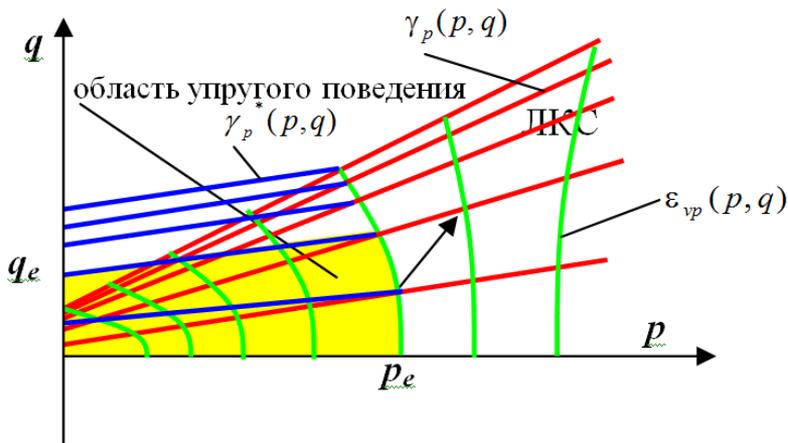




# Моделирование перемещения ограждения котлована с помощью вязкопластической модели с учетом закрепления грунта



# Вязкопластическая модель грунта



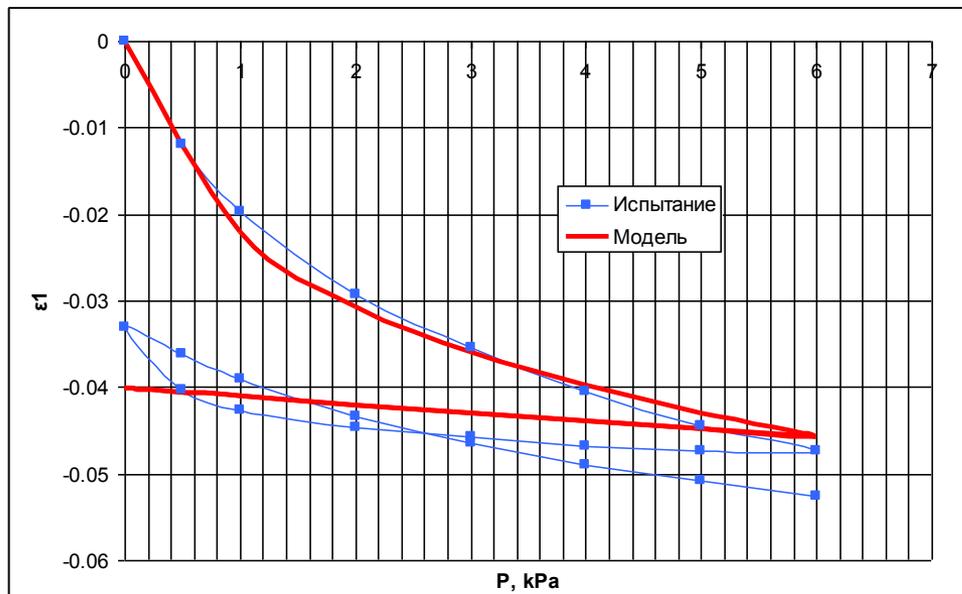
**Основная идея – независимое описание нелинейных зависимостей для объемных и сдвиговых деформаций**

Зависимость (1) позволяет в рамках одной модели объединить различное поведение грунта: медленное развитие деформаций при небольших сдвигающих напряжениях и быстрое разрушение при напряжениях на пределе прочности.

При описании деформаций формоизменения предлагаемая модель близка к модели Бингама-Шведова, за исключением более сложной зависимости вязкости (1) и деформаций (2) от напряжений

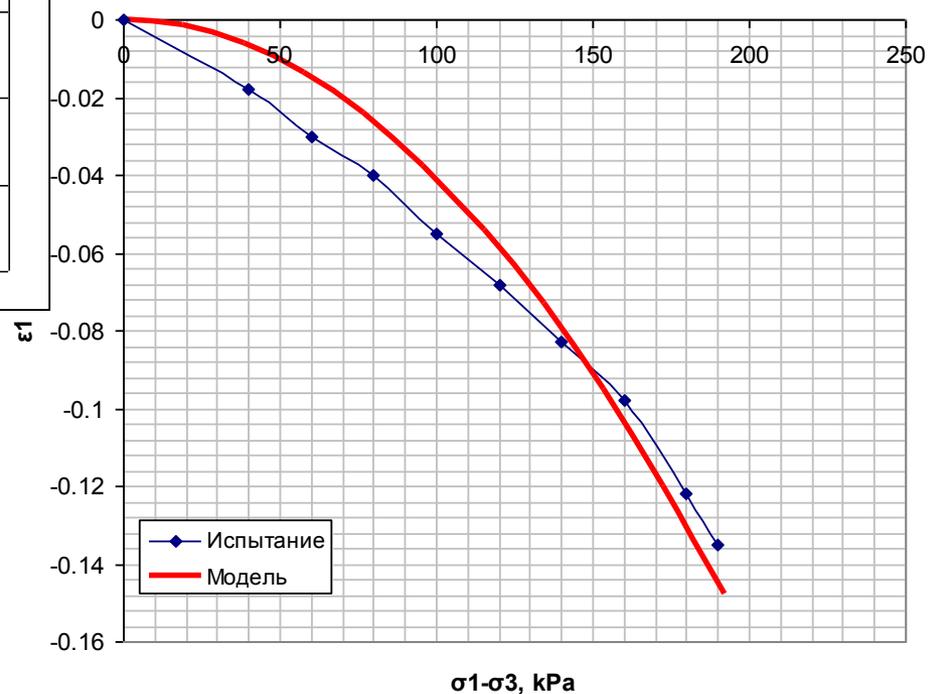


# Моделирование лабораторных испытаний



**Компрессионные  
испытания**

## Трехосные испытания



# GEORECONSTRUCTION

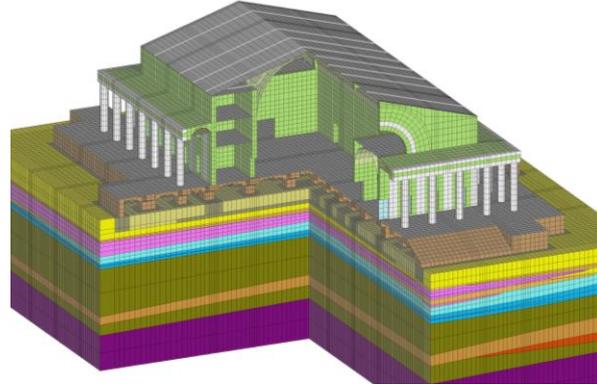


ПРОЕКТИРОВАНИЕ

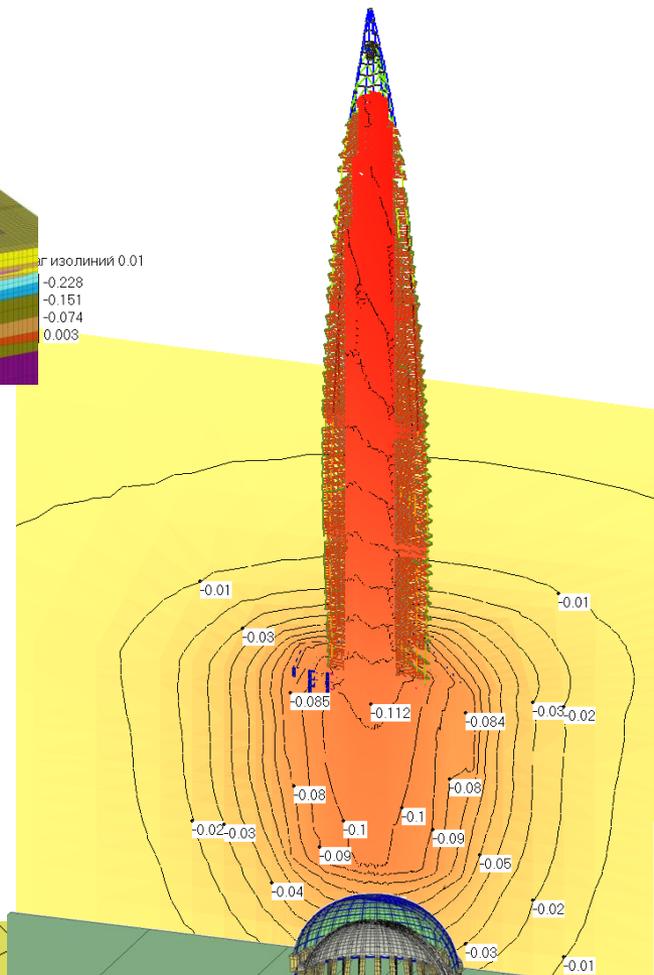
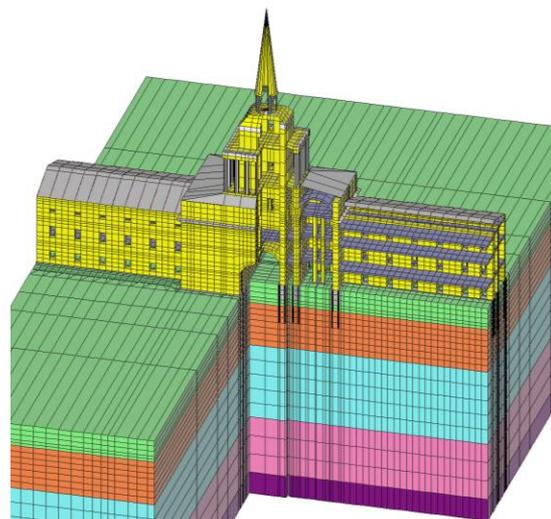
ОБСЛЕДОВАНИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

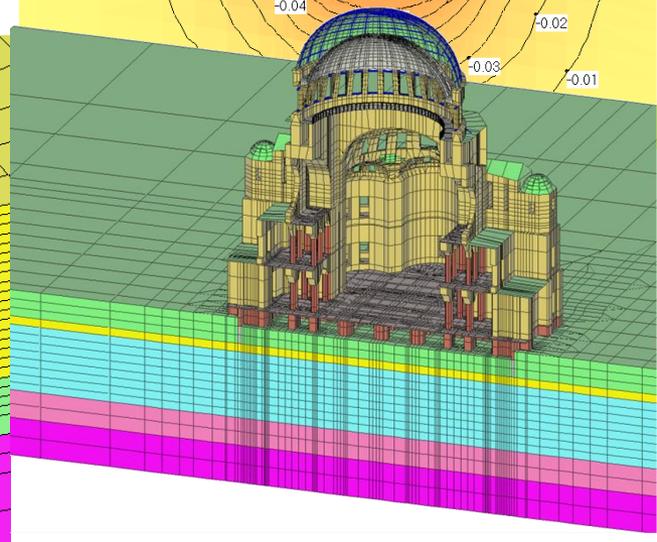
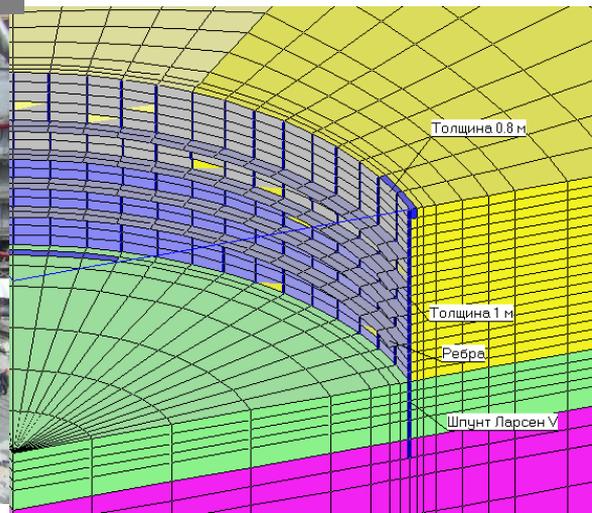
ГЕОТЕХНИКА



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

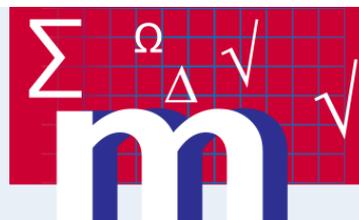
Принципиально новая программная среда с использованием новейших облачных технологий для решения инженерных и научных задач.

### 3D моделирование

Составные части:



iee finite elements



iee mathematics



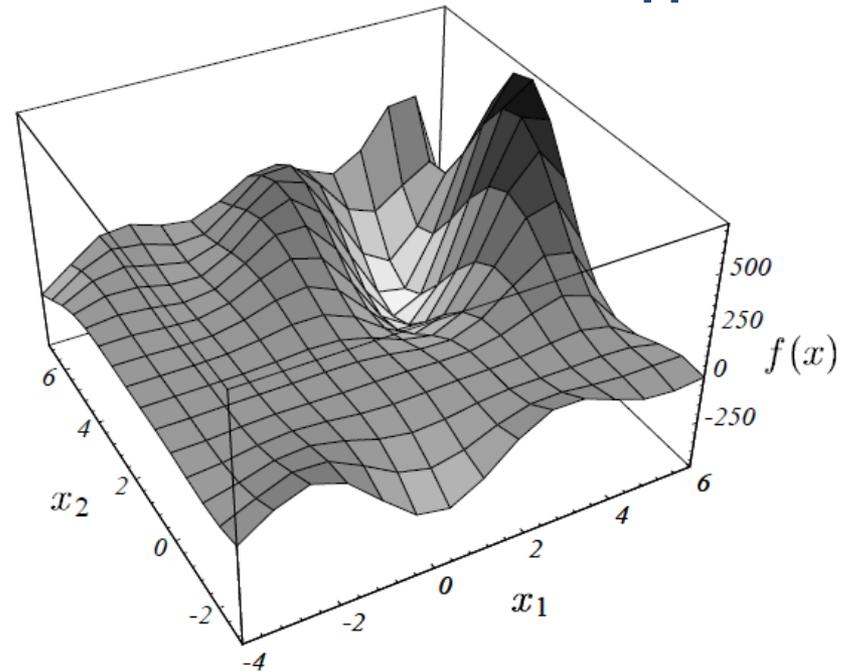
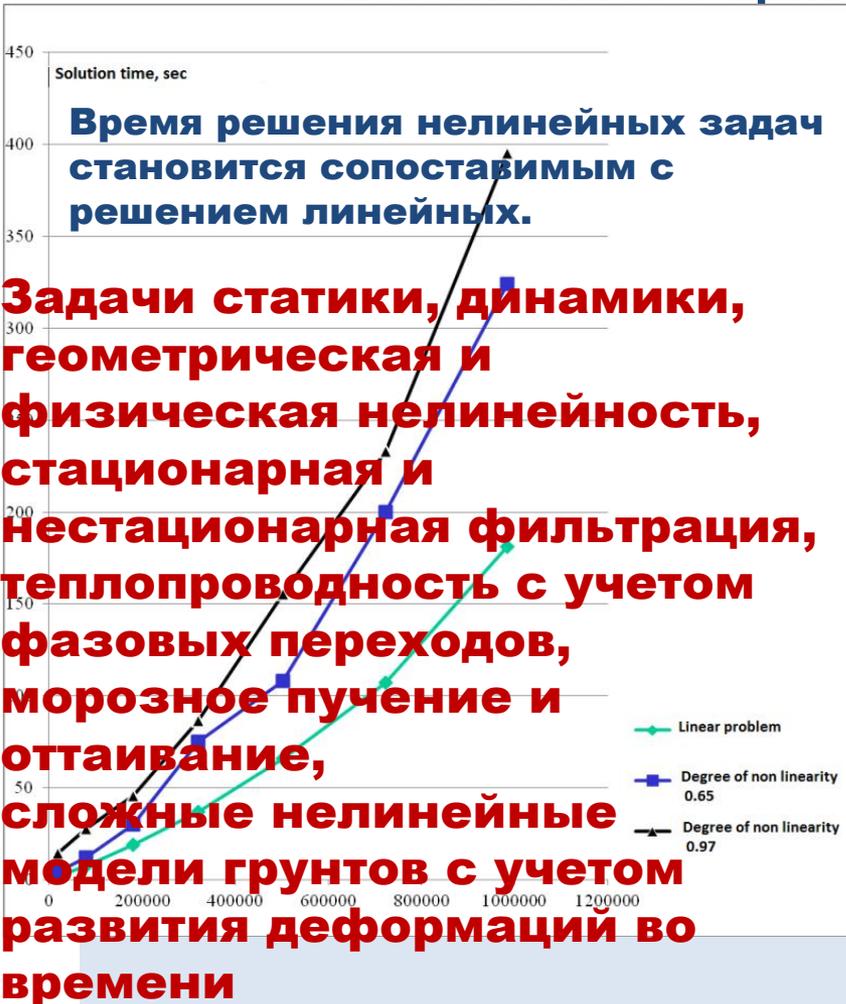
iee projects

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.

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



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

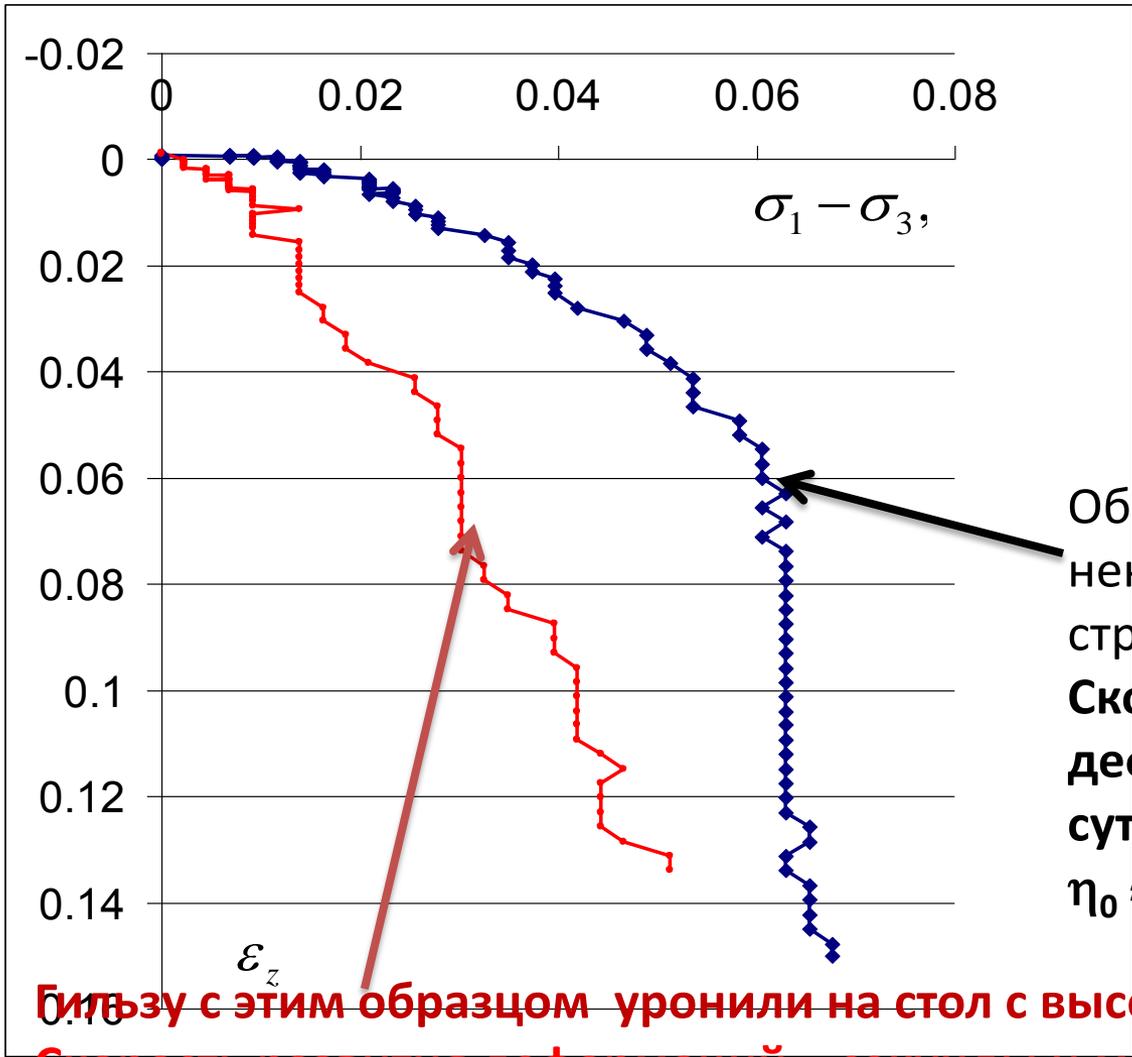


Одним из параметров вязкопластической модели является вязкость грунта. Этот параметр на «тихой» площадке может быть на два порядка большим, чем на «активной». Достаточно нарушить структуру грунта, и деформации ускорятся в 100 раз!

# Отбор образцов ненарушенной структуры из опытных котлованов



**Испытание образцов – близнецов (из одного монолита)**

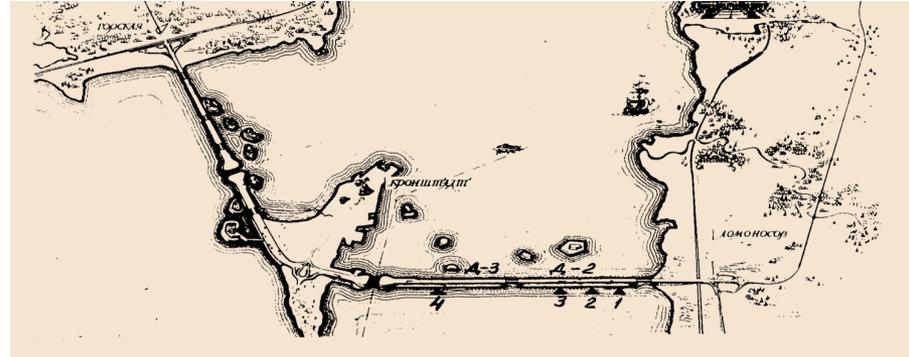
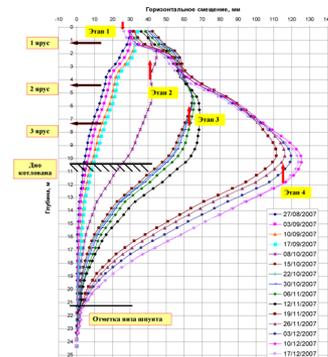
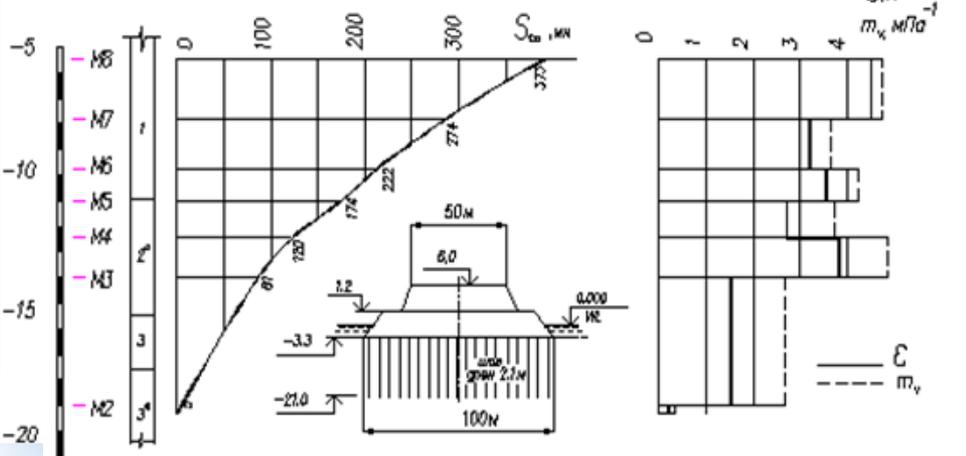


Образец  
ненарушенной  
структуры  
**Скорость развития  
деформаций – часы и  
сутки**  
 $\eta_0 \approx 1,0c_u$  [кПа $\circ$ год]

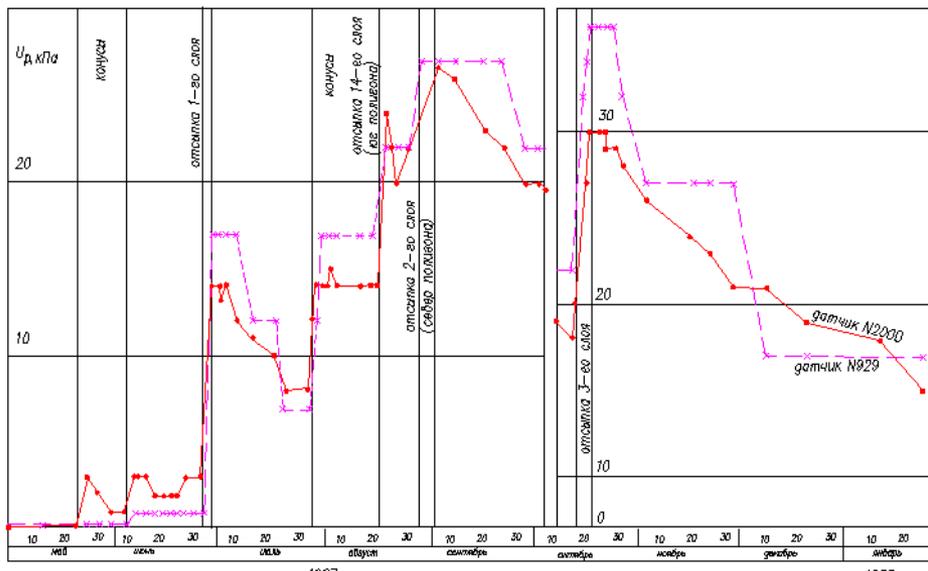


**Близу с этим образцом уронили на стол с высоты 20 см**  
**Скорость развития деформаций – секунды и минуты**  
 $\eta_0 \approx 0,01c_u$  [кПа $\circ$ год]

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



Суммарный график изменения усилий в балках всех ярусов



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

$\eta_0 \approx 100c_u$  [кПа·год]  
Скорость развития деформаций – месяцы и годы



$\eta_0 \approx 1.0c_u$  [кПа·год]



Скорость развития деформаций – несколько суток

# Два возможных принципа проектирования подземных сооружений на урбанизированной территории

При сохранении природного сложения грунта

При нарушении природных структурных связей

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

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



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

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



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

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



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



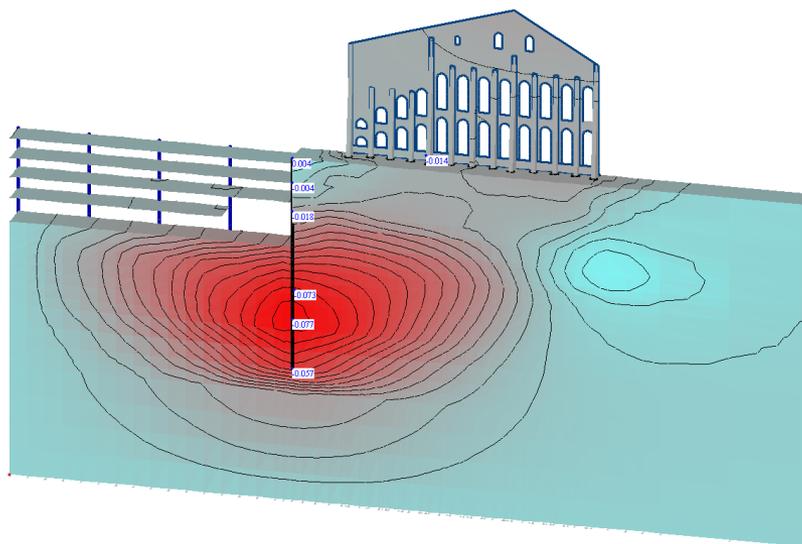
Подземное строительство нерентабельно

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

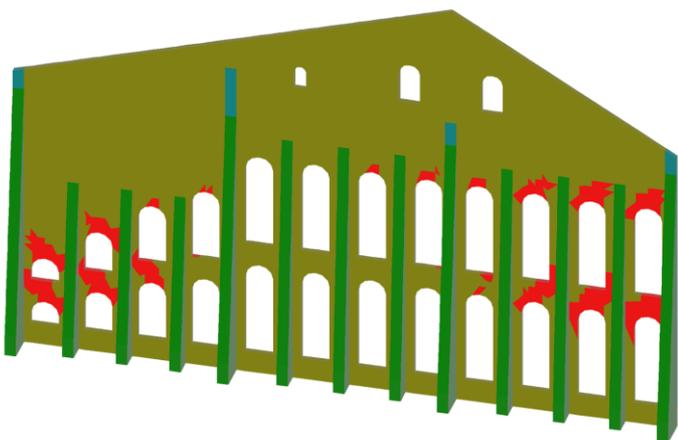
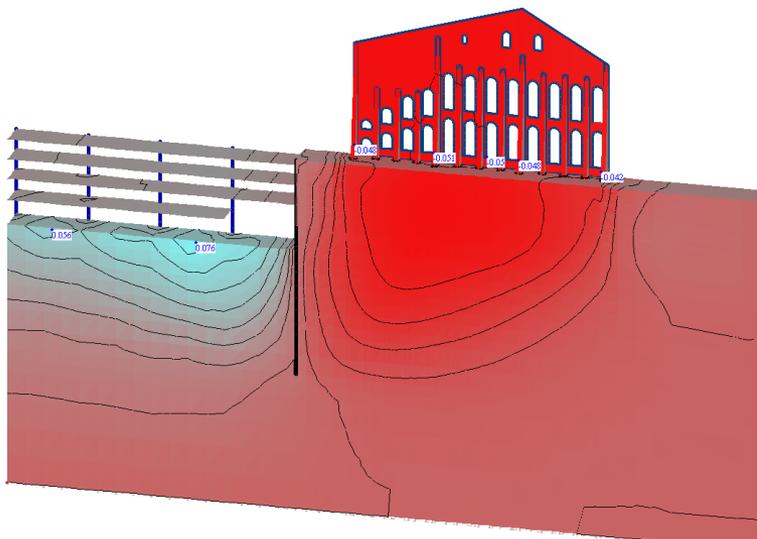
$$\eta_0 \approx 100c_u \text{ [кПа} \cdot \text{год]}$$

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

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



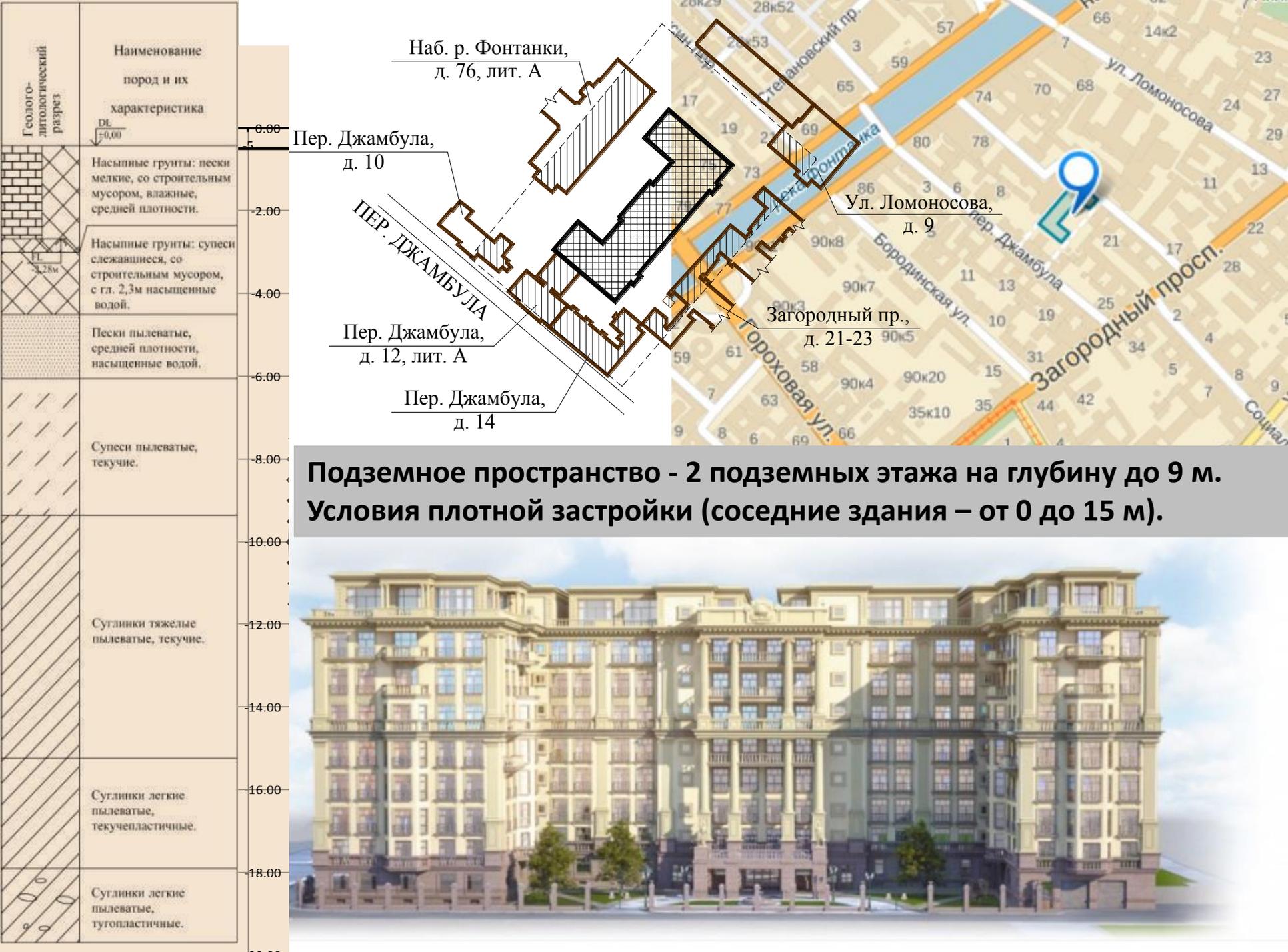
Выполняется расчет взаимодействия существующих зданий, основания и глубокого котлована при минимальной начальной вязкости, т.е. **с учетом нарушения структурных связей в грунте**. Усилия в конструкциях порождаются деформациями основания, обусловленными податливостью ограждения котлована.

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

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства. Часть 4. Метод «жесткого контура»
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**



Геологический разрез

Наименование пород и их характеристика	Глубина (м)
Насыпные грунты: пески мелкие, со строительным мусором, влажные, средней плотности.	0.00 - 2.00
Насыпные грунты: супеси слежавшиеся, со строительным мусором, с гл. 2,3м насыщенные водой.	2.00 - 4.00
Пески пылеватые, средней плотности, насыщенные водой.	4.00 - 6.00
Супеси пылеватые, текучие.	6.00 - 12.00
Суглинки тяжелые пылеватые, текучие.	12.00 - 16.00
Суглинки легкие пылеватые, текучепластичные.	16.00 - 18.00
Суглинки легкие пылеватые, тугопластичные.	18.00 - 20.00

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

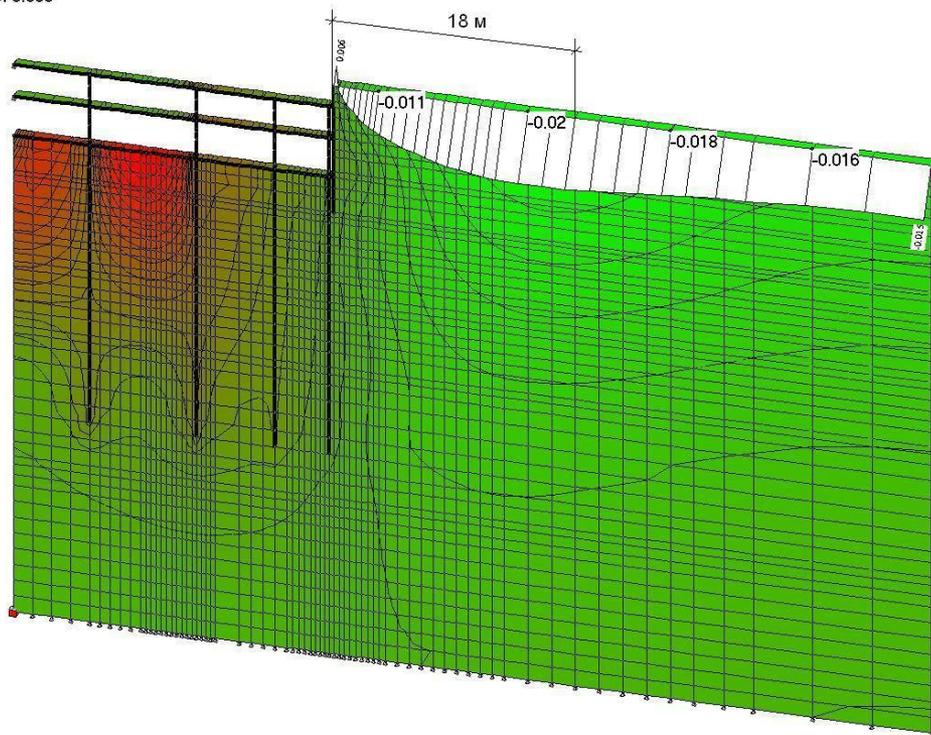


# Метод «жесткого контура»

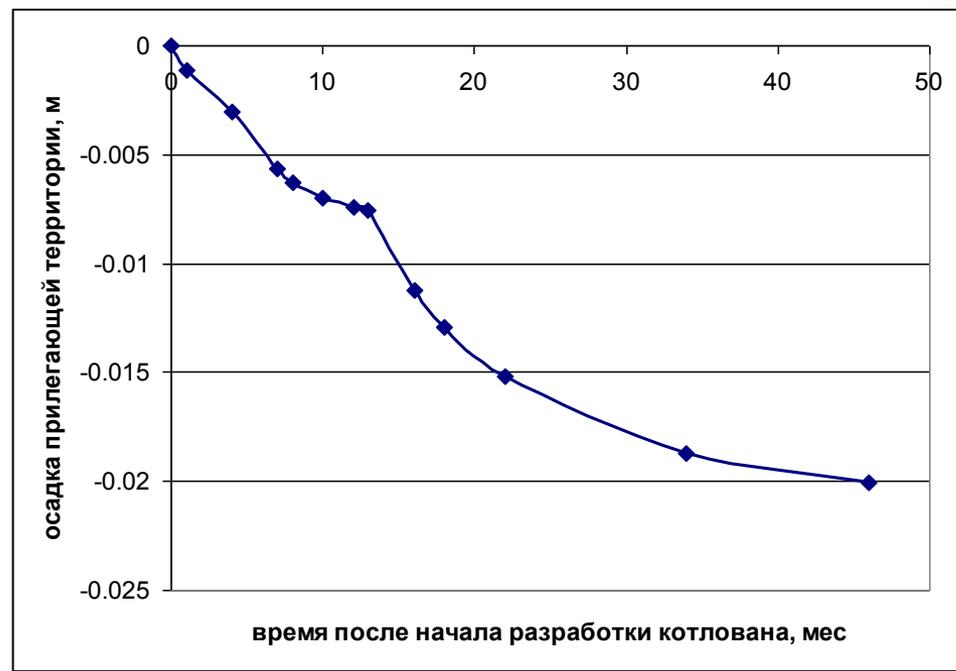
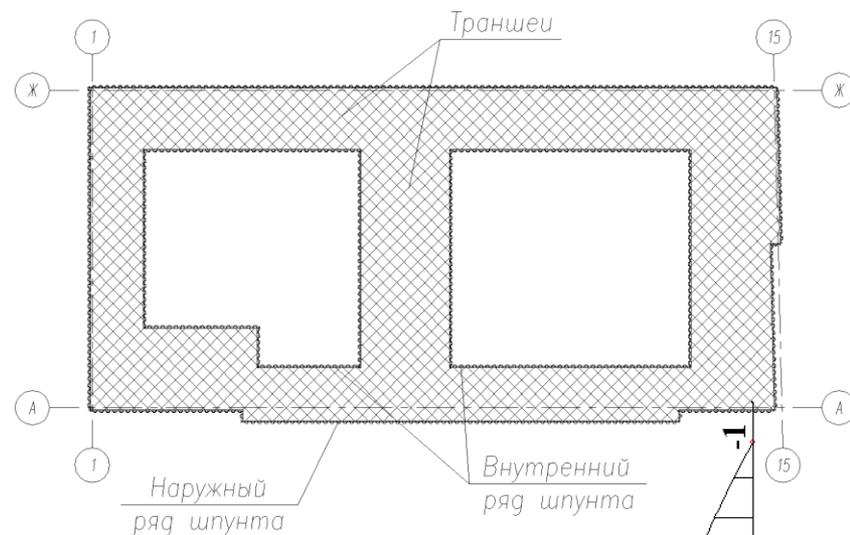


Шаг изолиний 0.003

-0.02  
0.014  
0.049

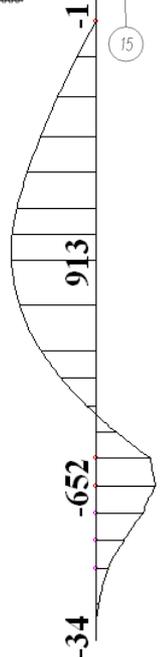


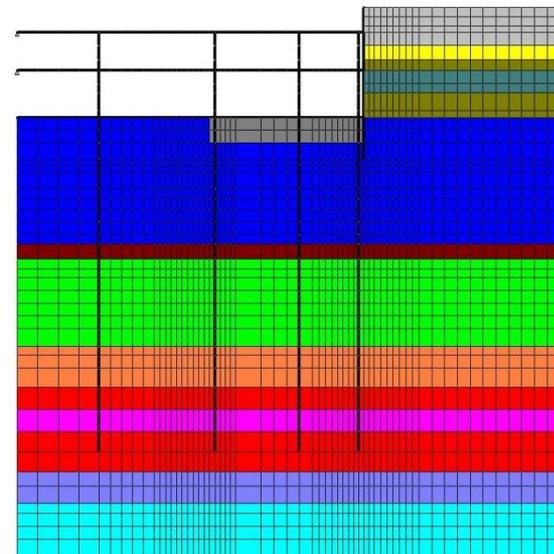
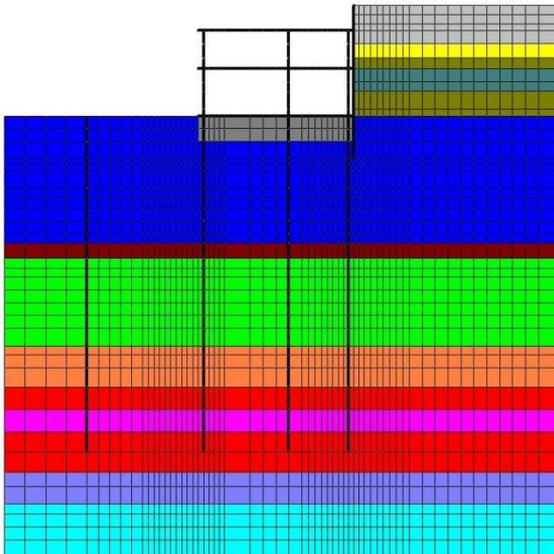
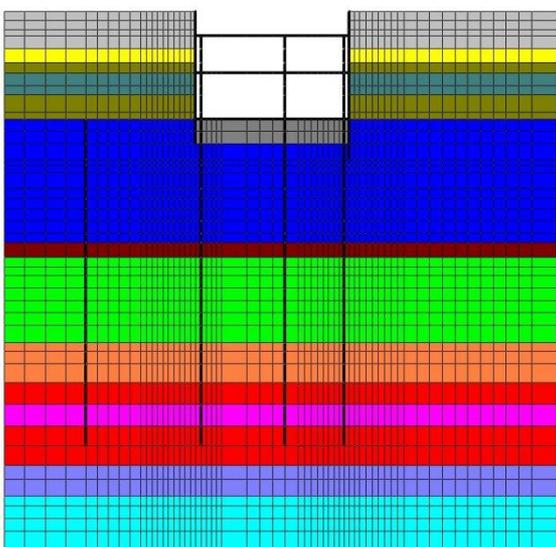
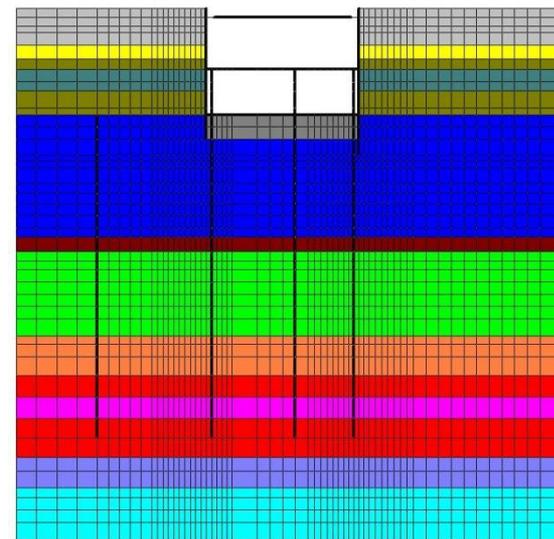
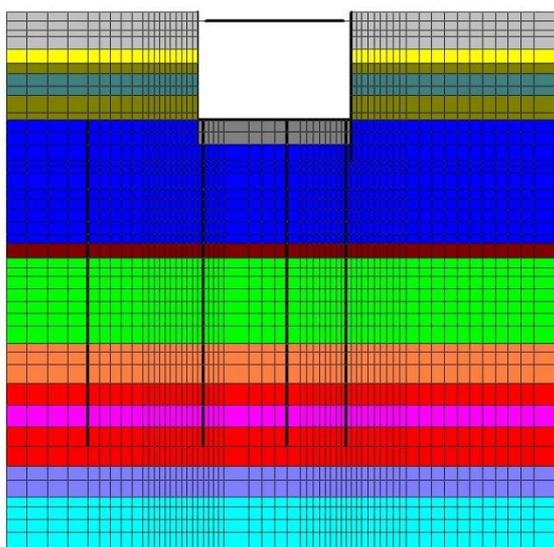
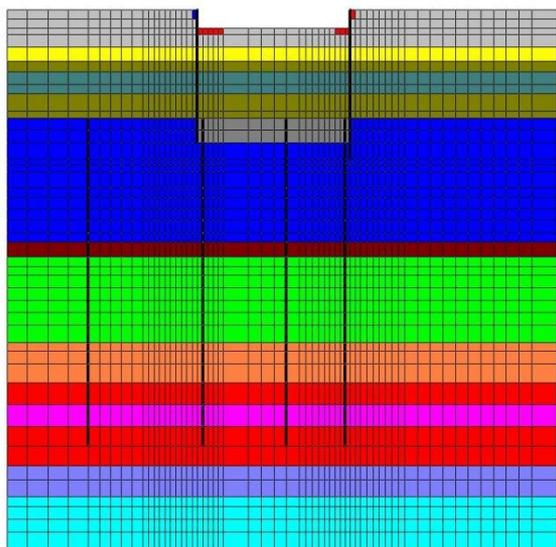
**Вариант применения технологии струйного закрепления грунта ниже дна котлована и шпунтового ограждения, эквивалентного по жесткости Ларсен Л5**



Вертикальные деформации прилегающей территории (м)

Максимальный изгибающий момент 913 кН·м/м



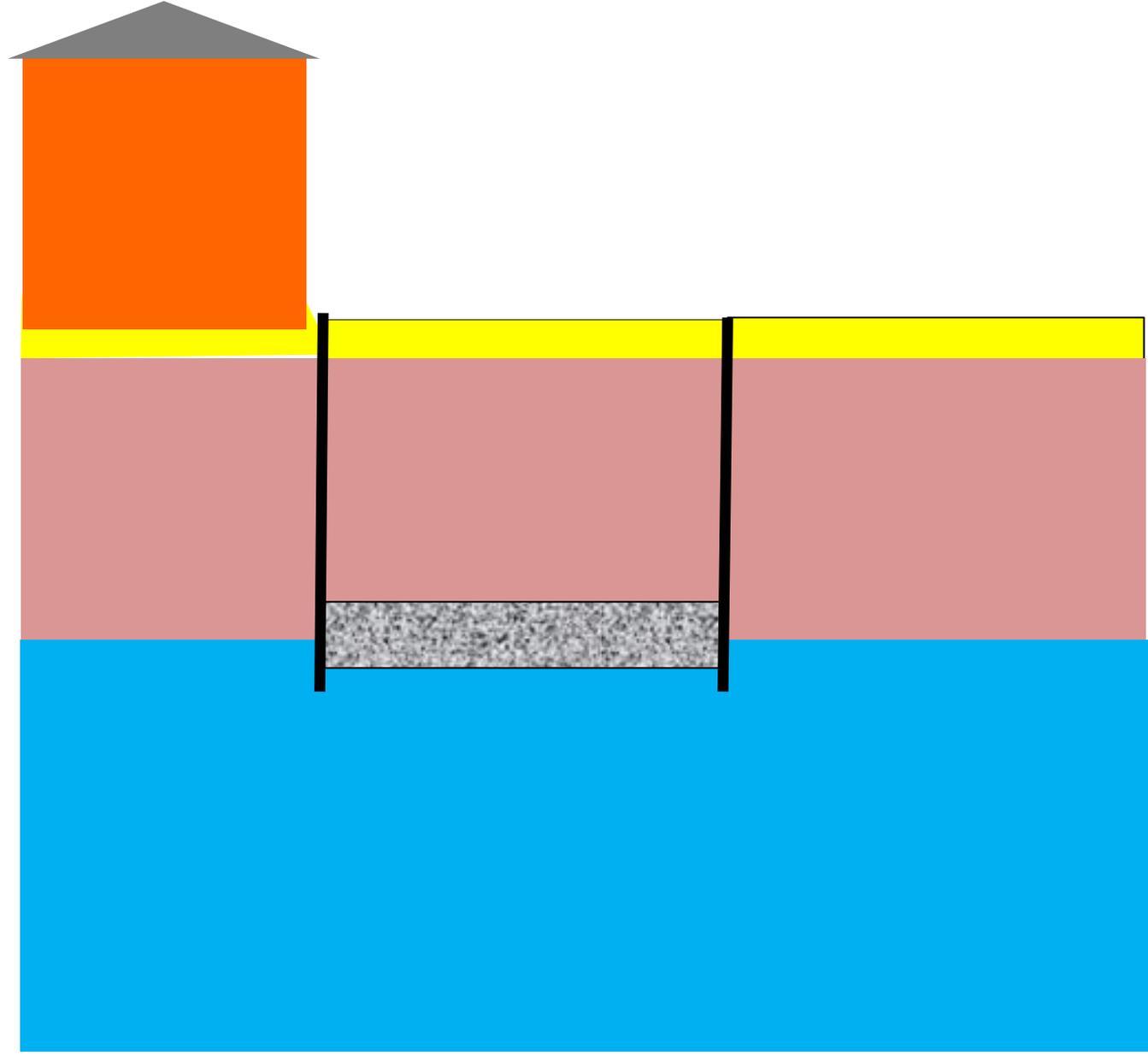


**Подземное пространство:**

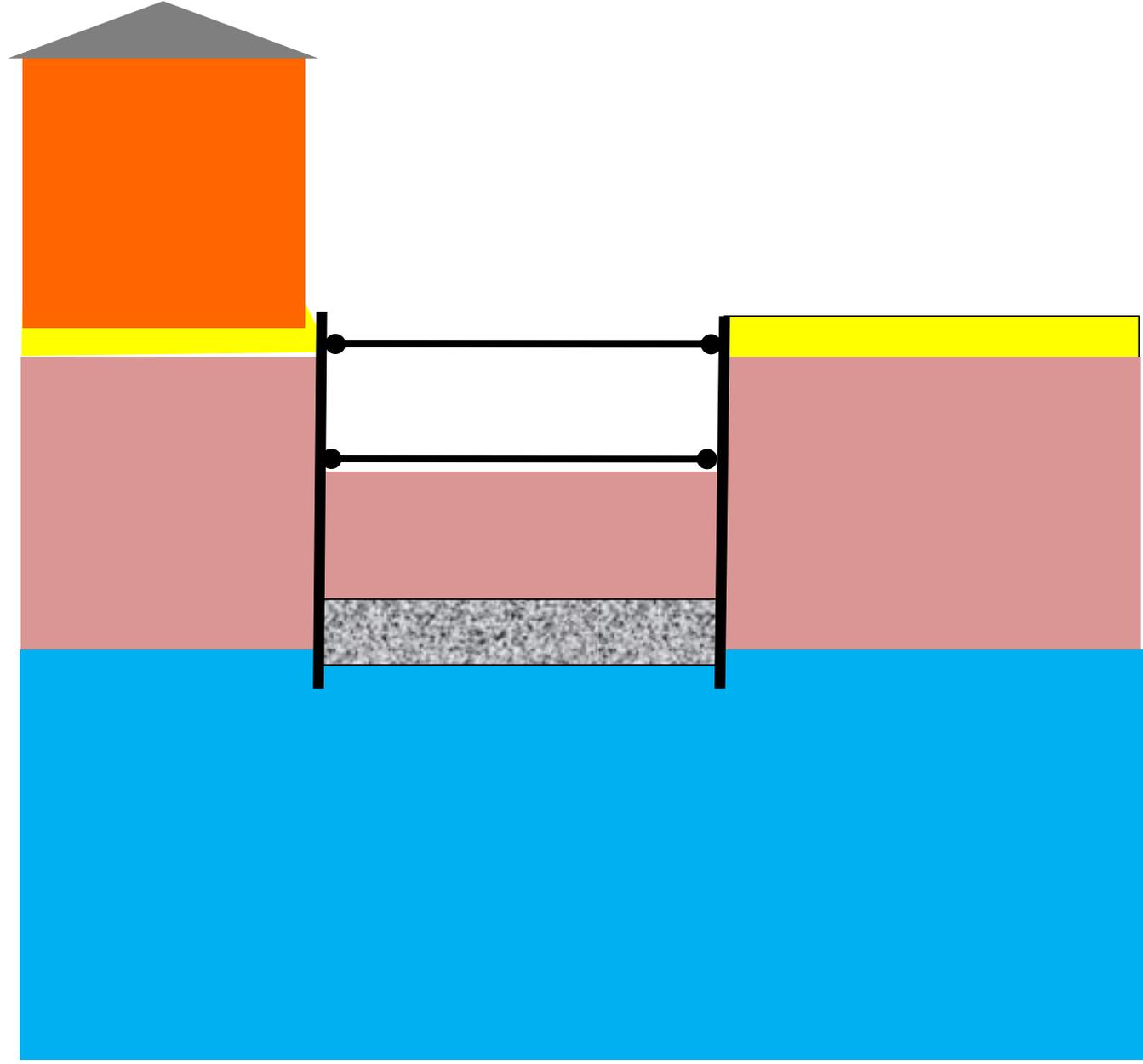
- 2 подземных этажа на глубину до 9 м
- Шпунтовое ограждение Л5 длиной 12 м

- 1 уровень распорных креплений (2 уровня у д.12 по пер.Джамбула)
- Слой Get grouting на глубине от 9 до 11 м

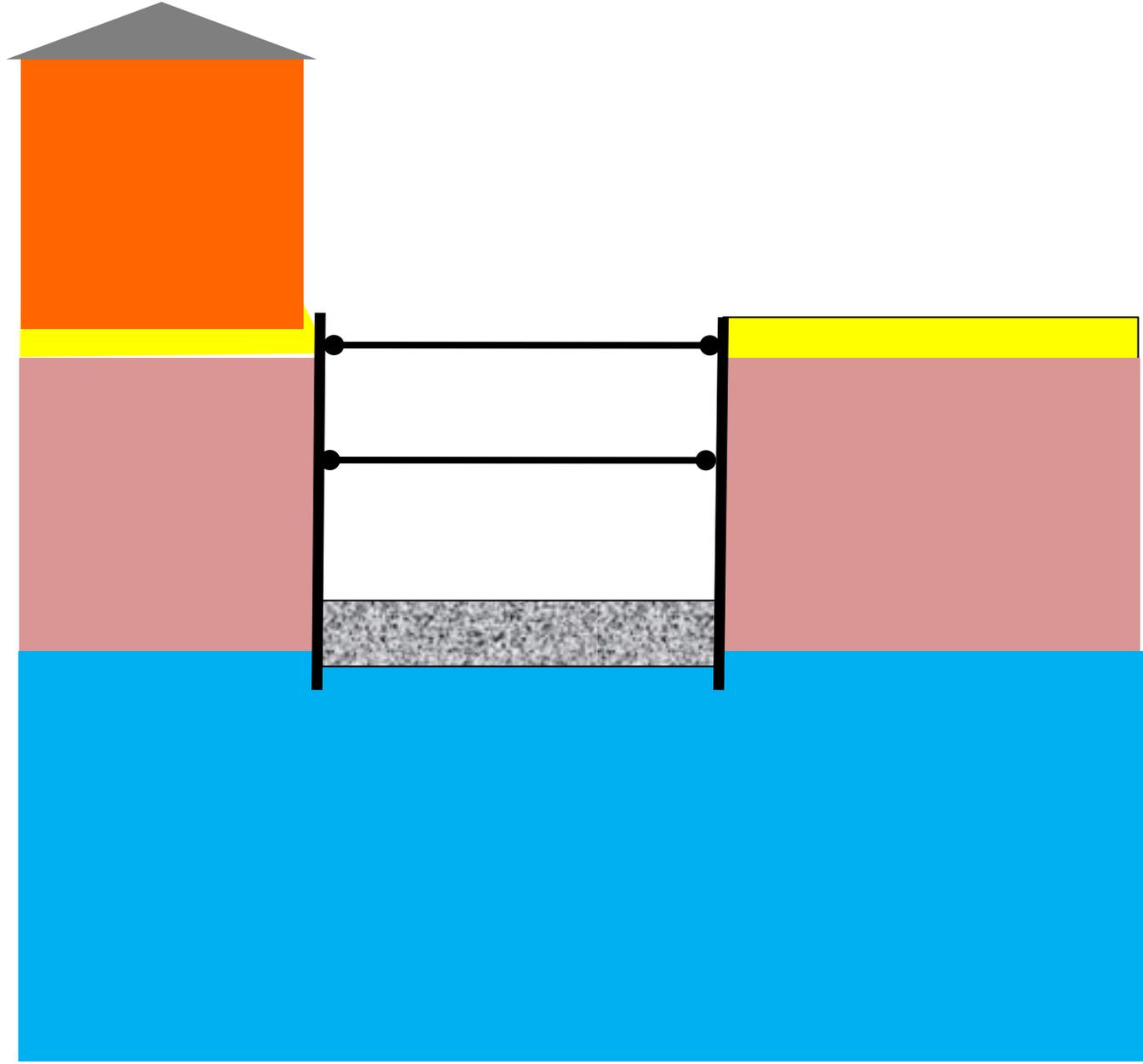
Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»



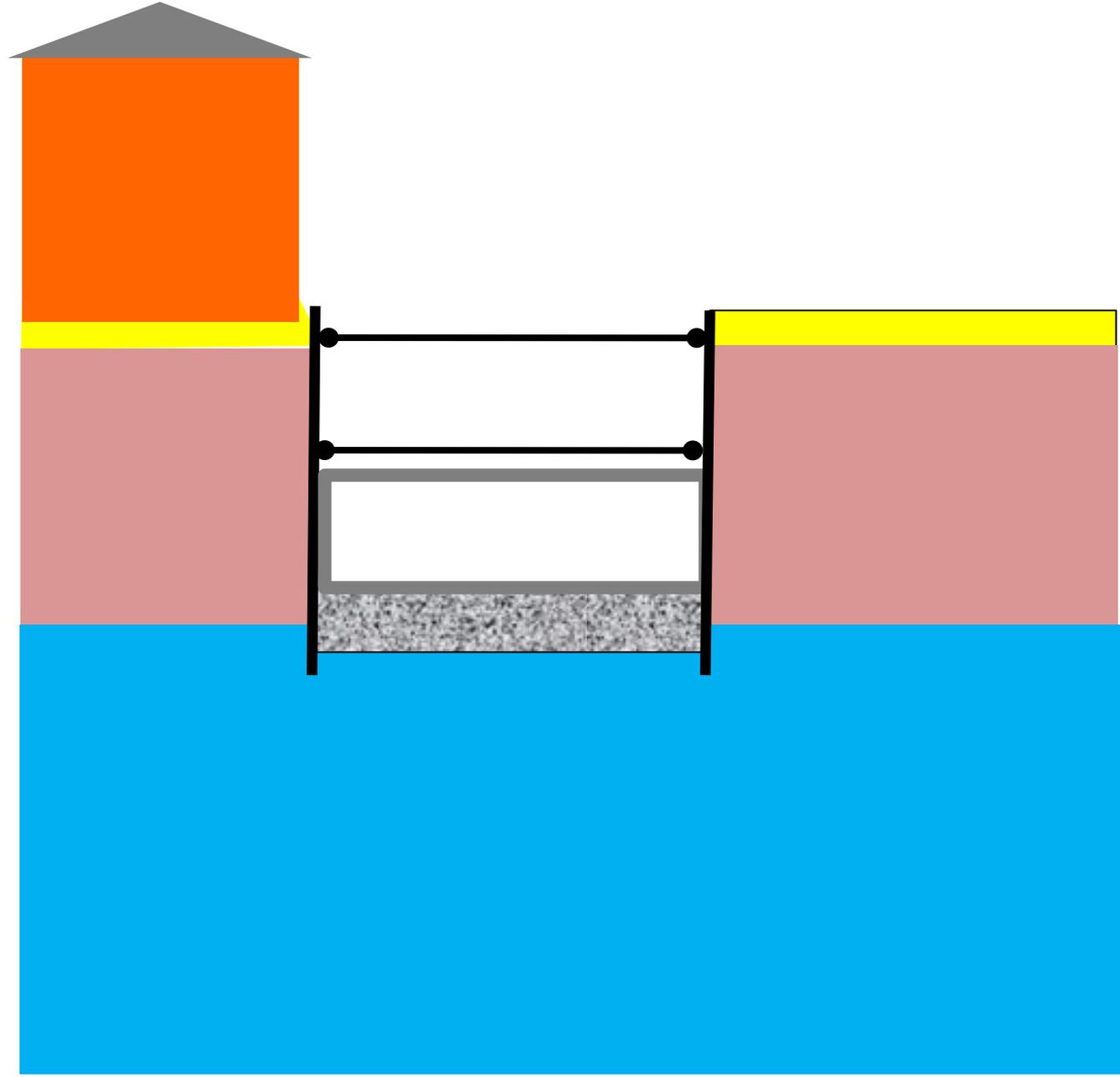
Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»



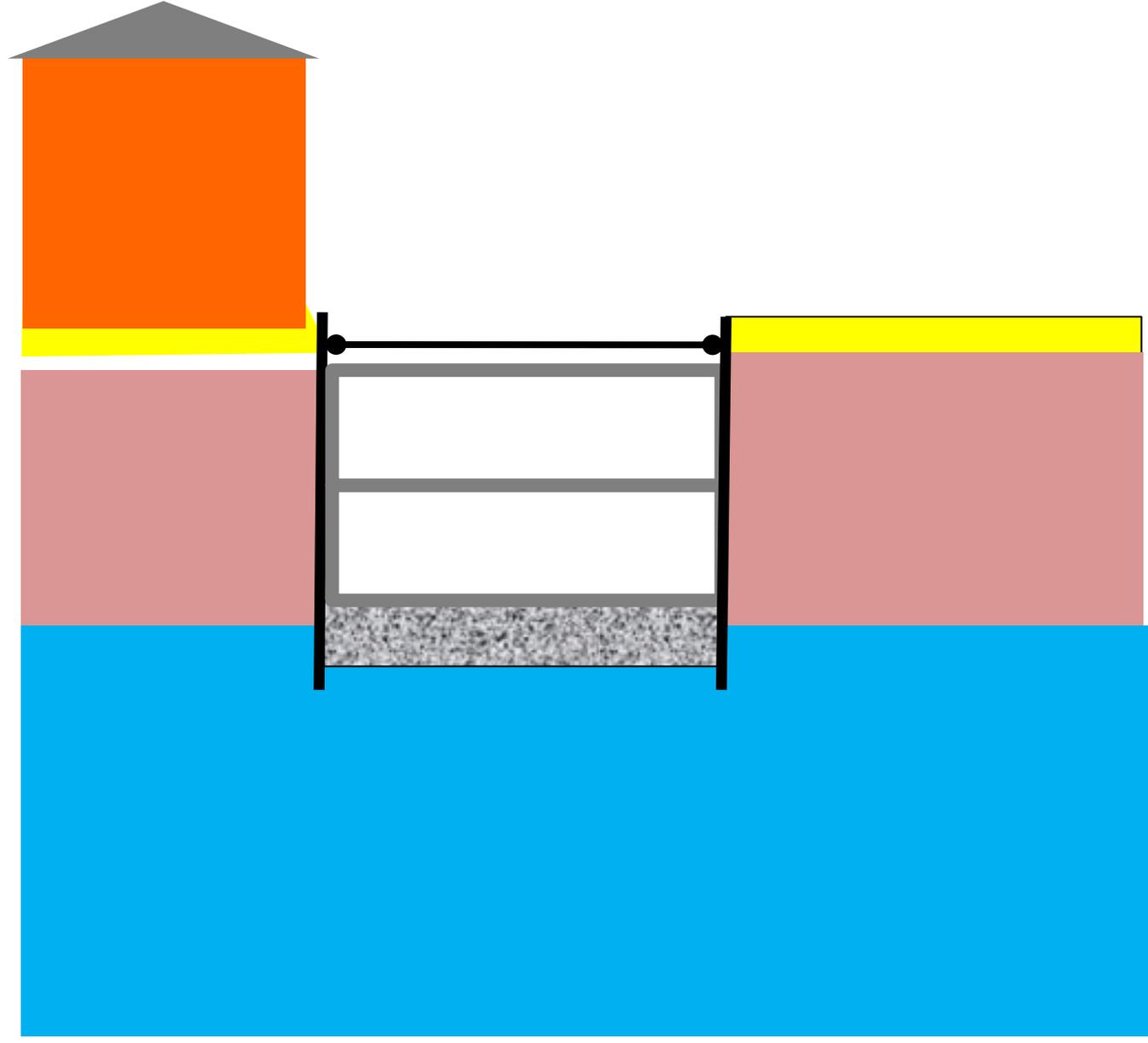
Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»



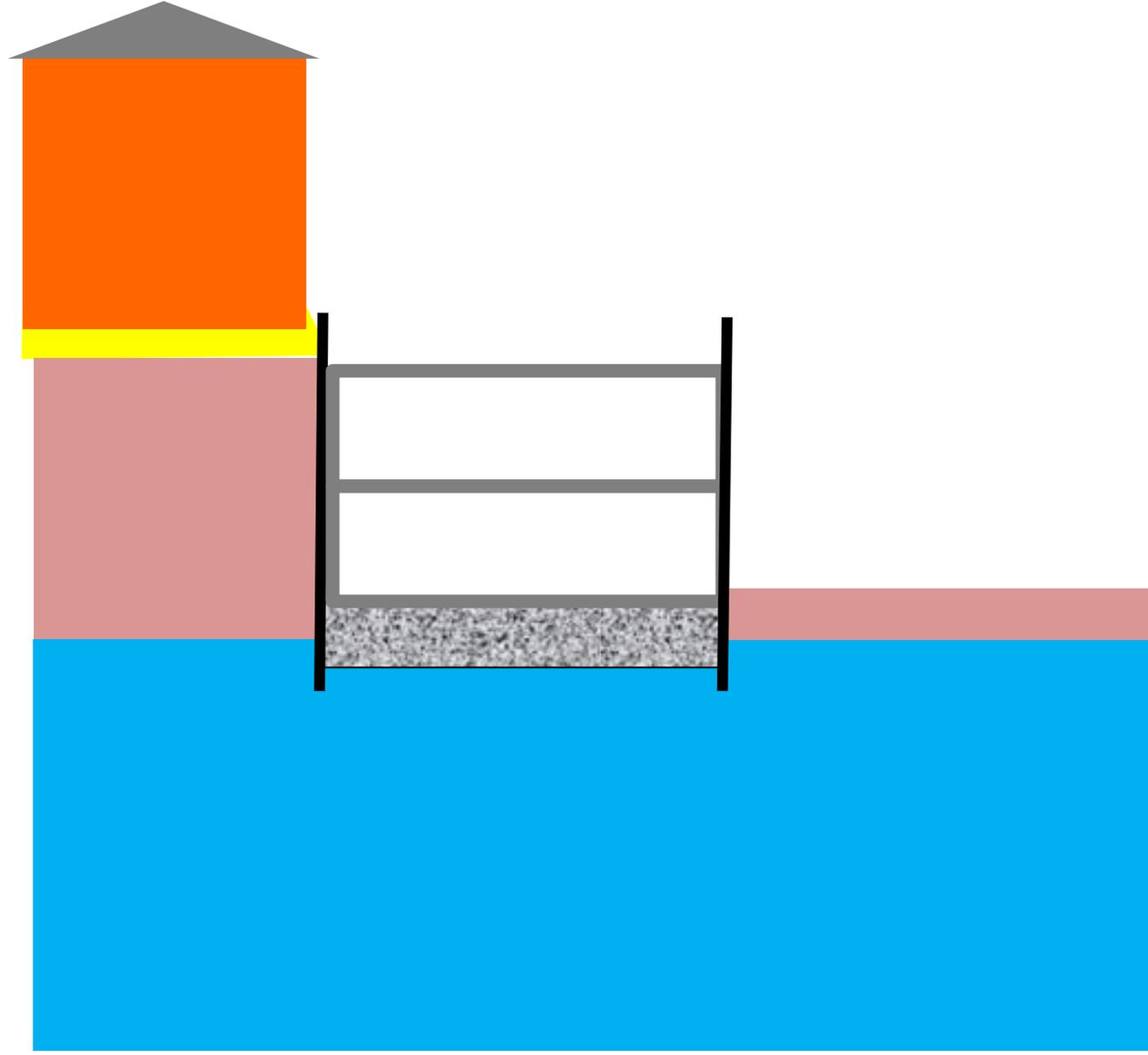
Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»

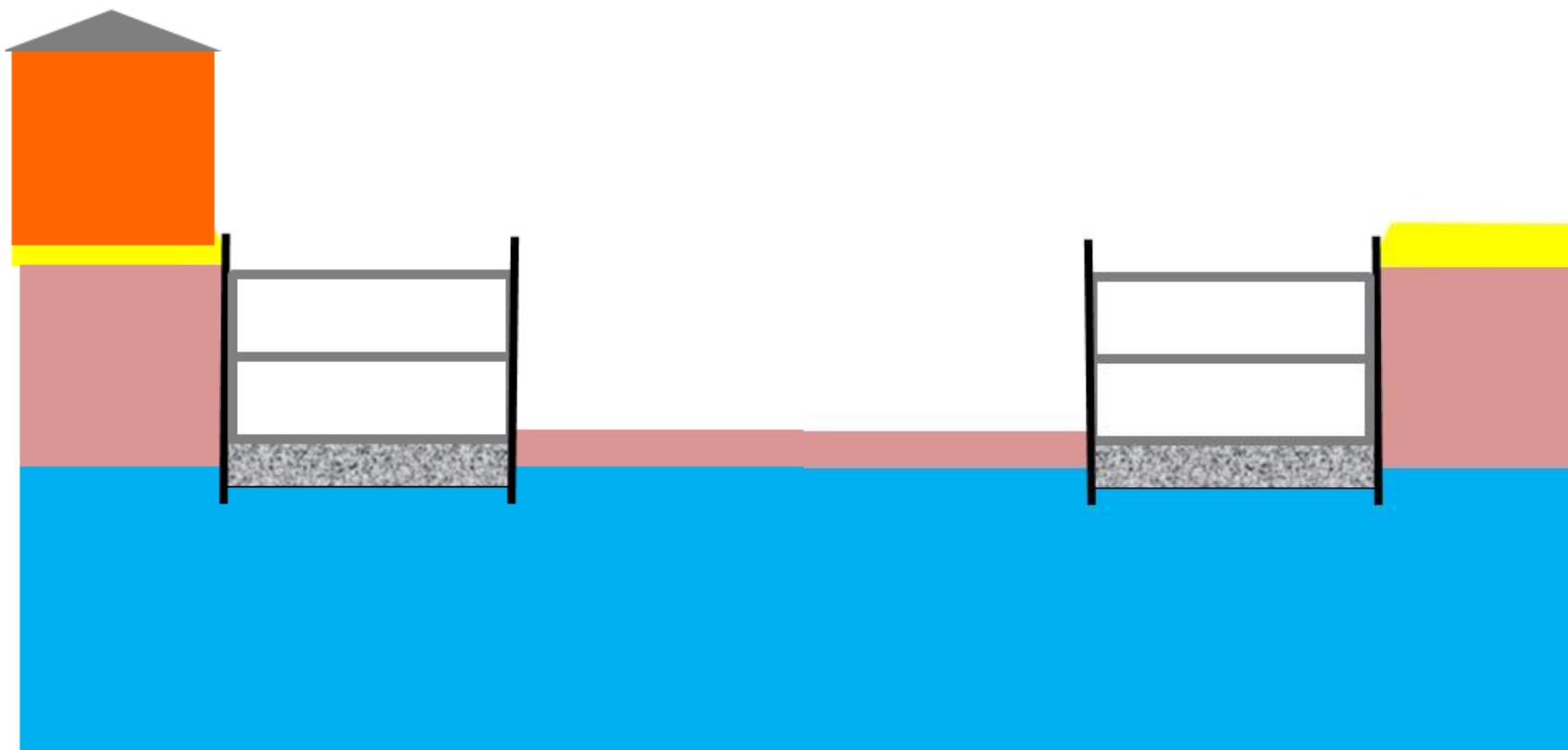


Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»

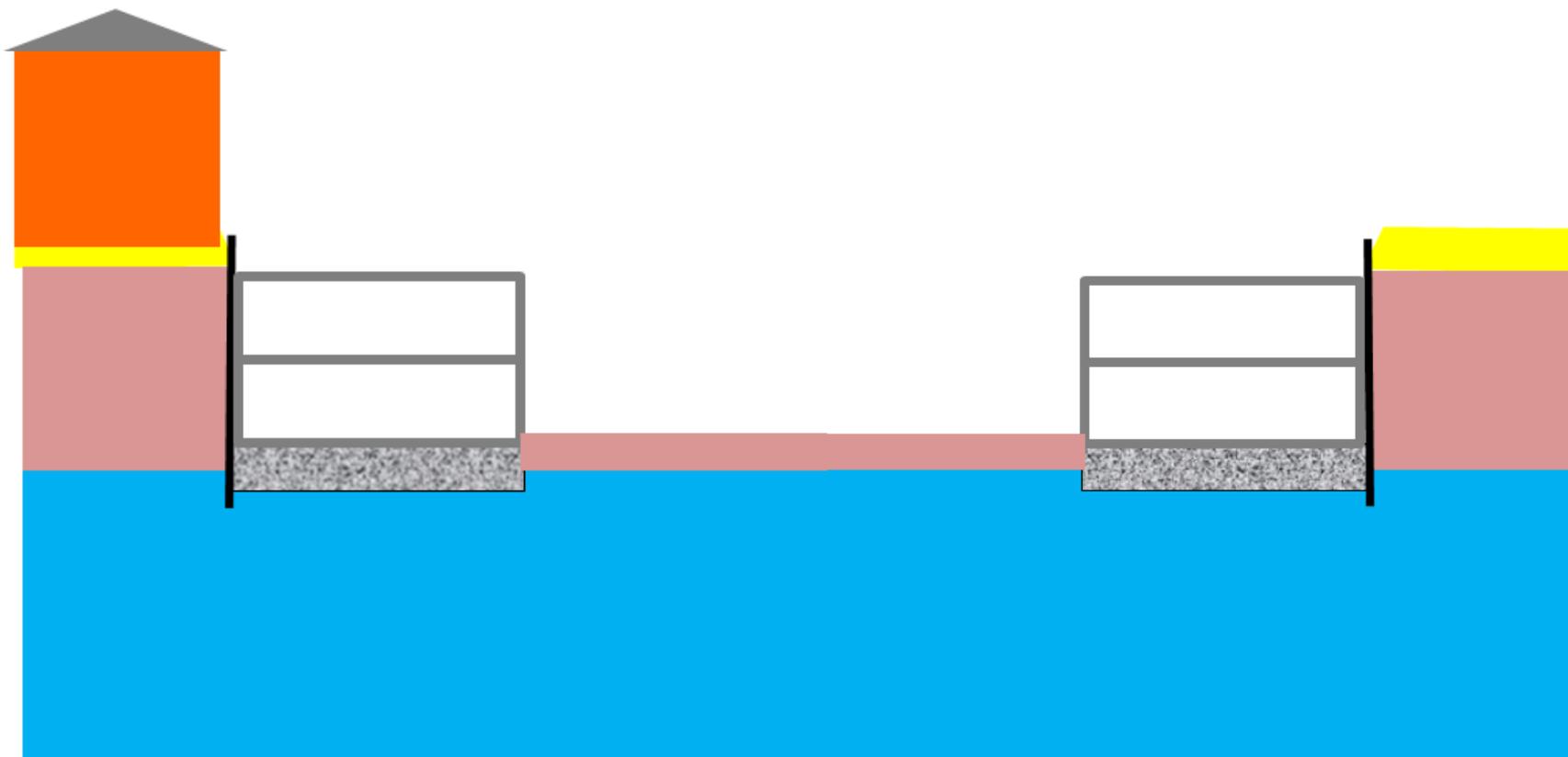


Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»

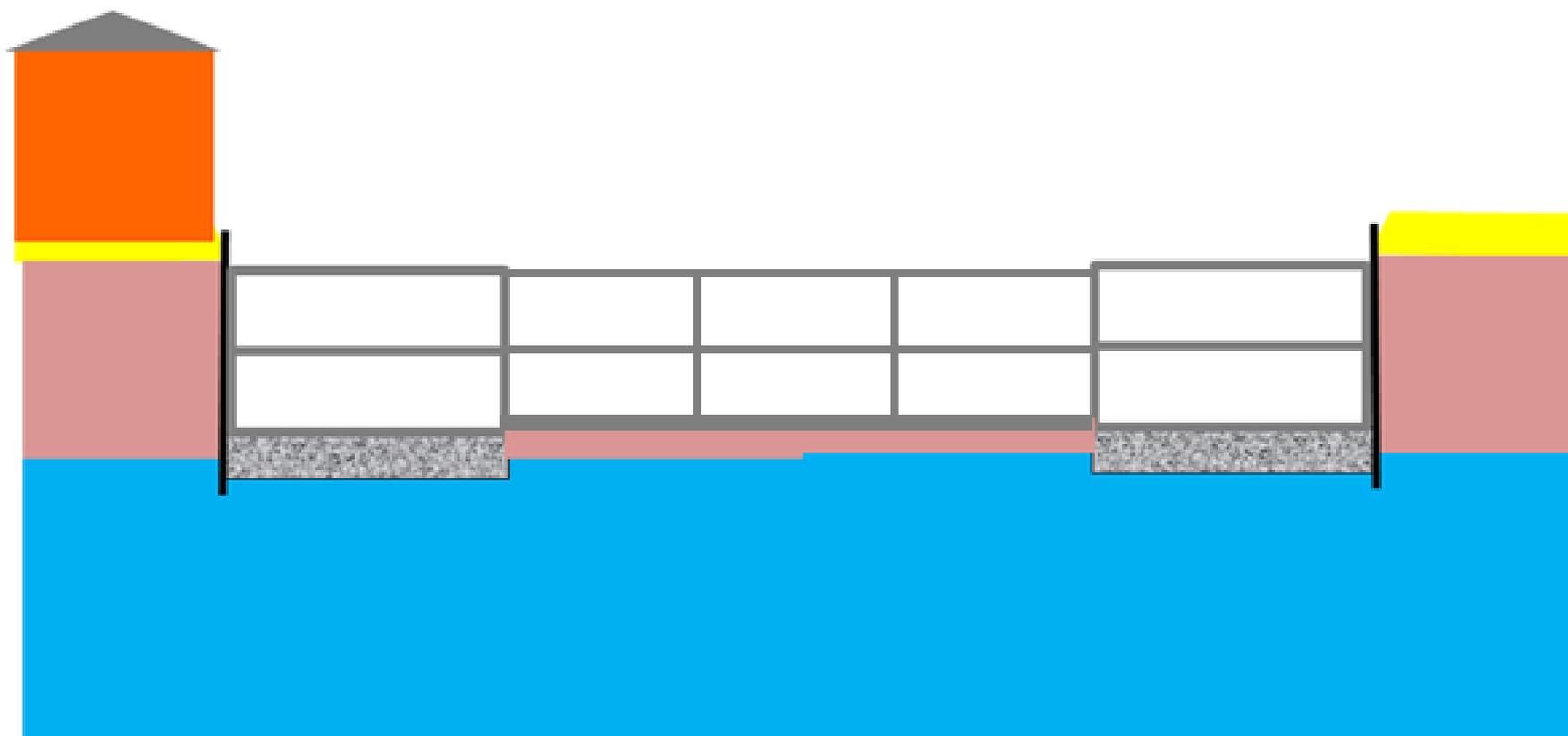




Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»



Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»

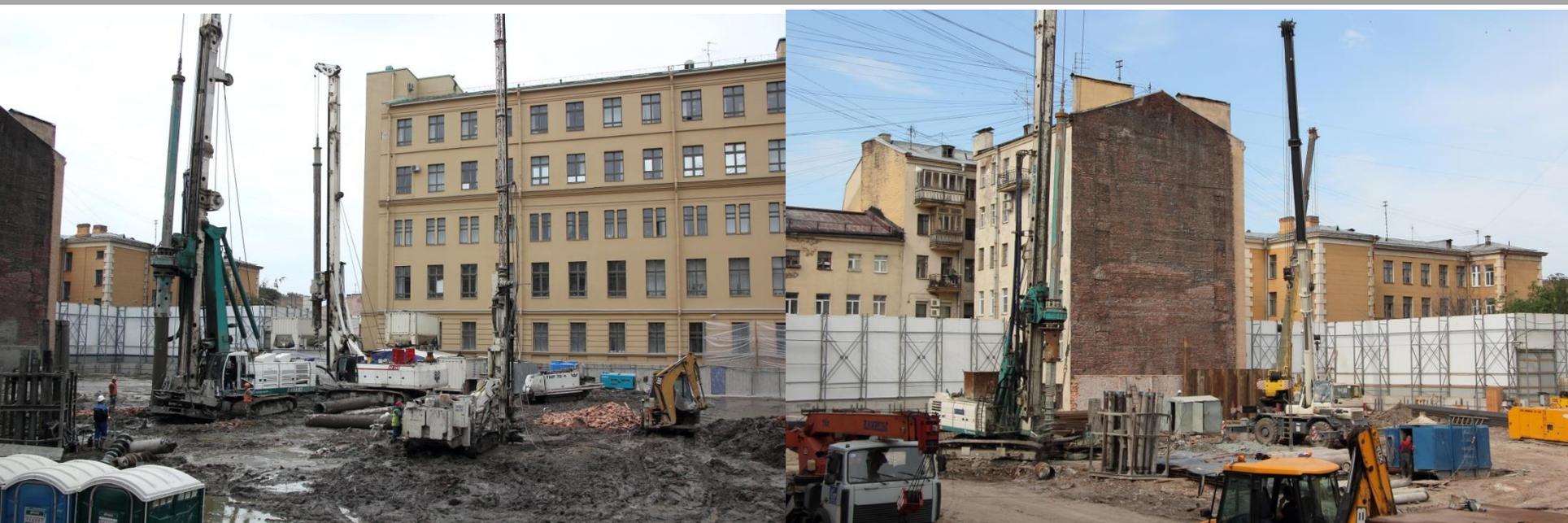


Последовательность устройства котлована способом «жесткого контура»



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



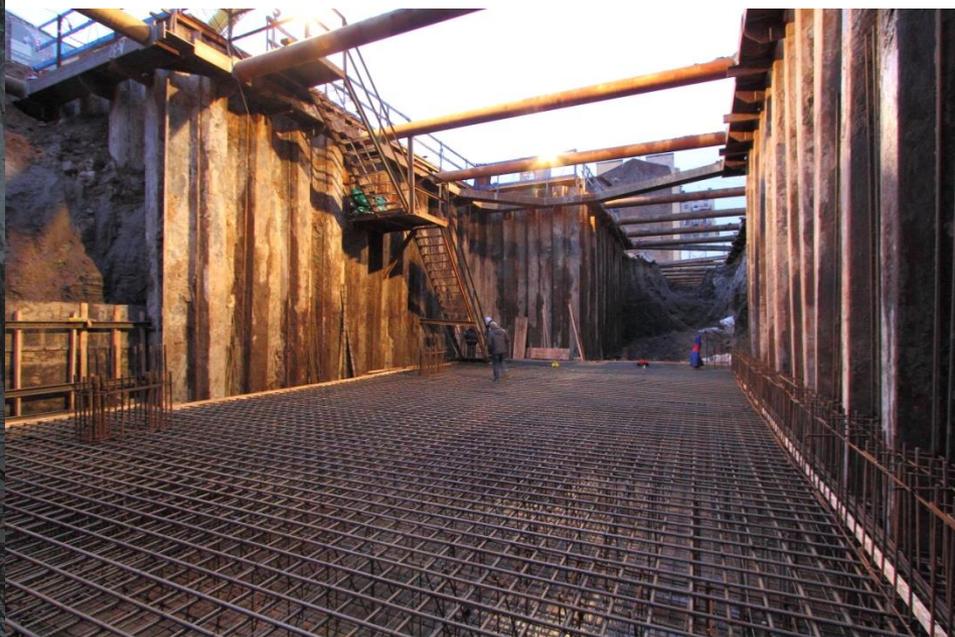
Так выглядит слой  
закрепленного грунта по  
струйной технологии

# 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»



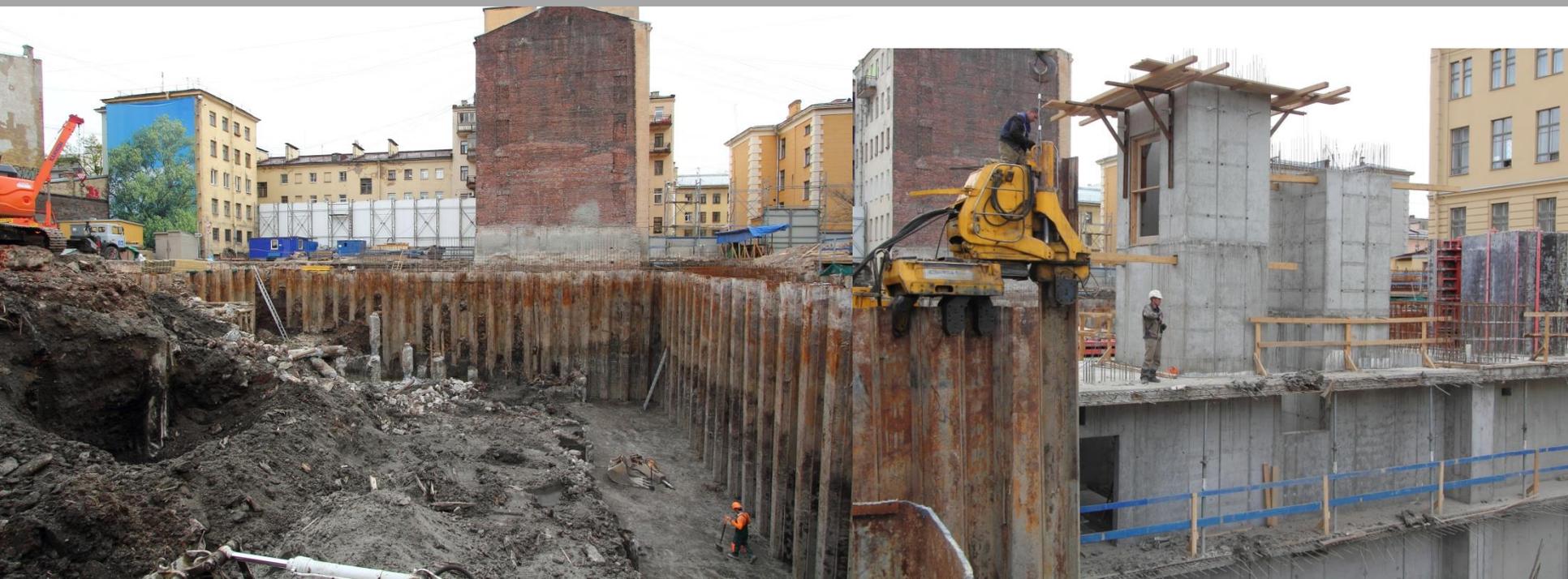


## Возведение железобетонных конструкций внутри «жесткого контура»





Откопка грунта внутри «островов» и виброизвлечение шпунта



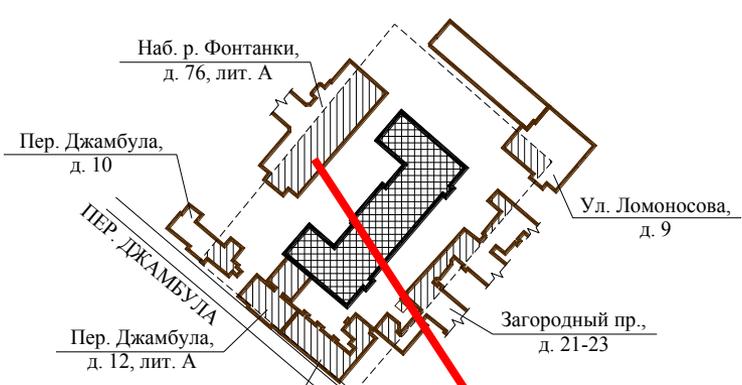


## Откопка грунта внутри «островов» и виброизвлечение шпунта

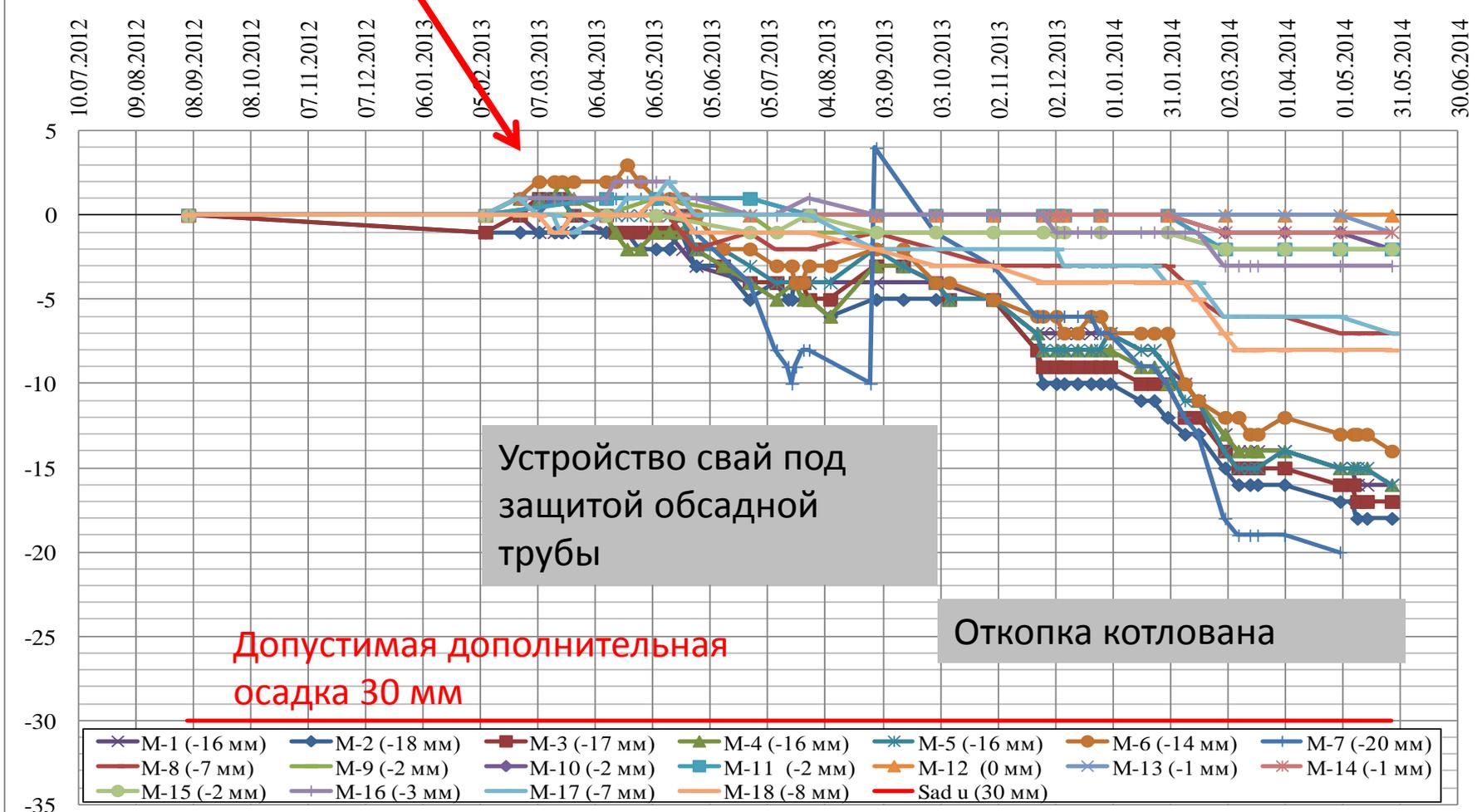


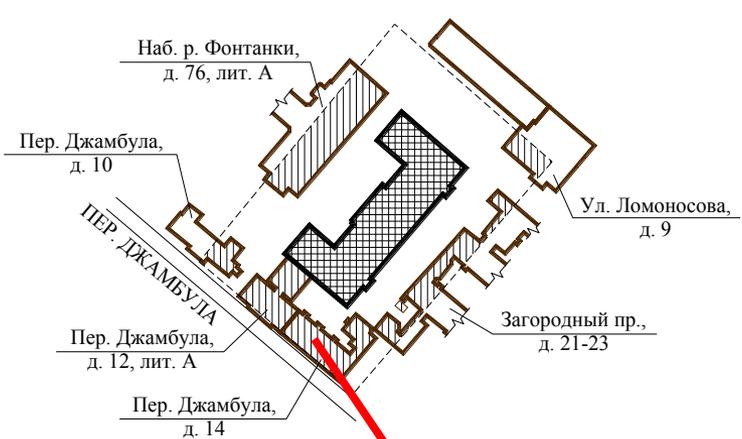


Струйная технология позволяет реализовать эффективный способ устройства подземного сооружения в плотной городской застройке с коротким шпунтовым ограждением (способ «жесткий контур»)

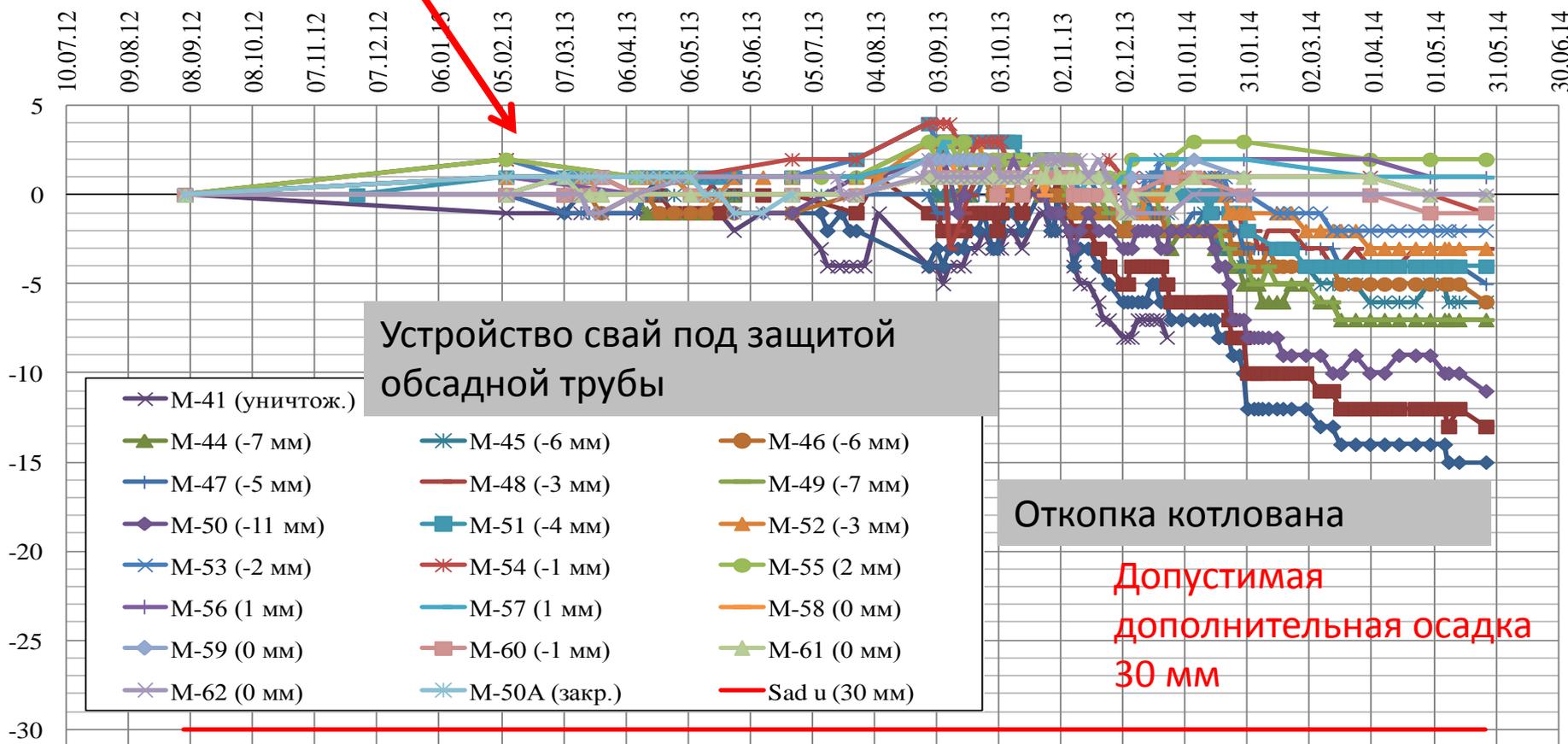


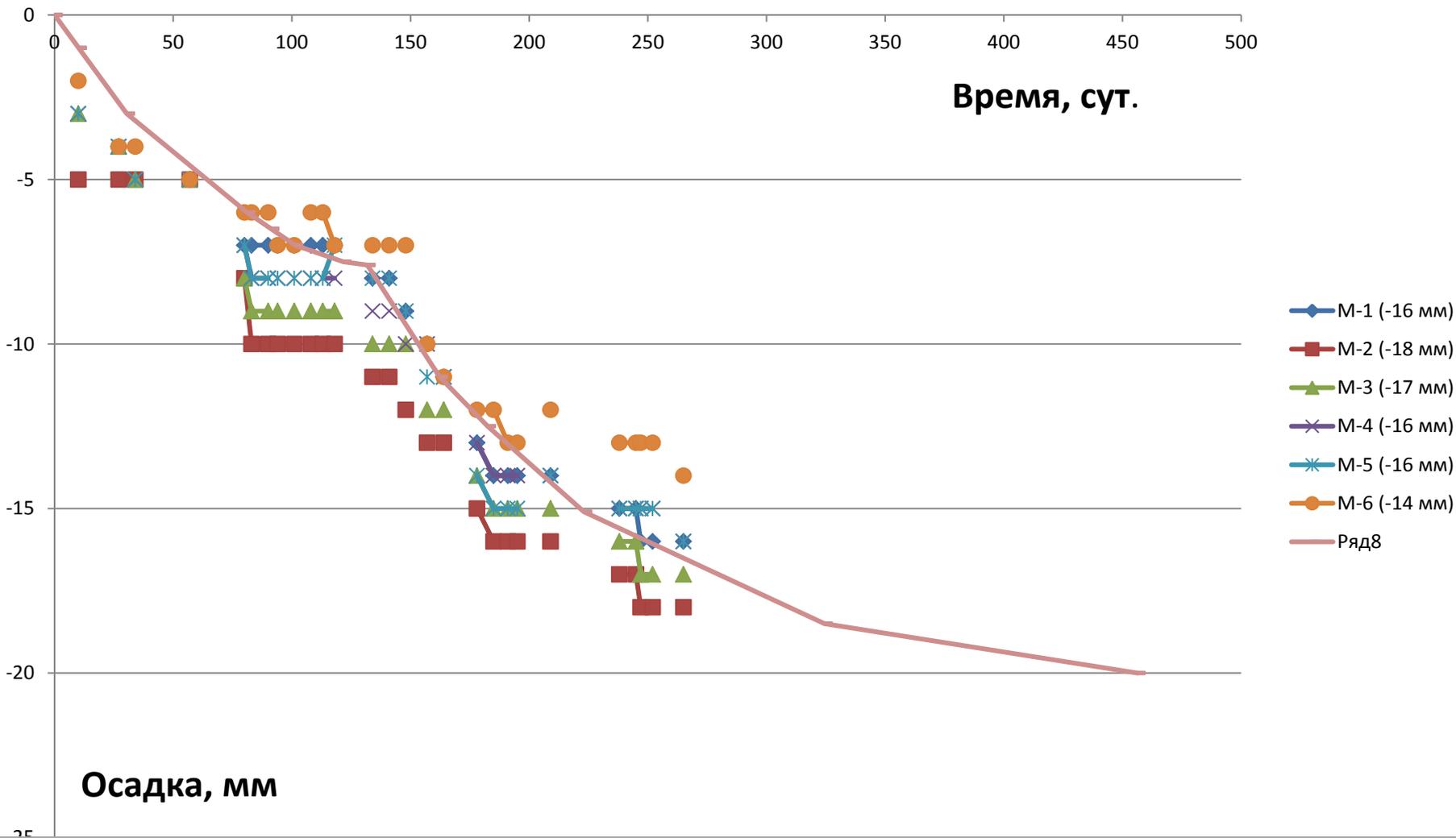
**Марки, расположенные на здании по адресу: наб. р. Фонтанки, д. 76, лит. А**





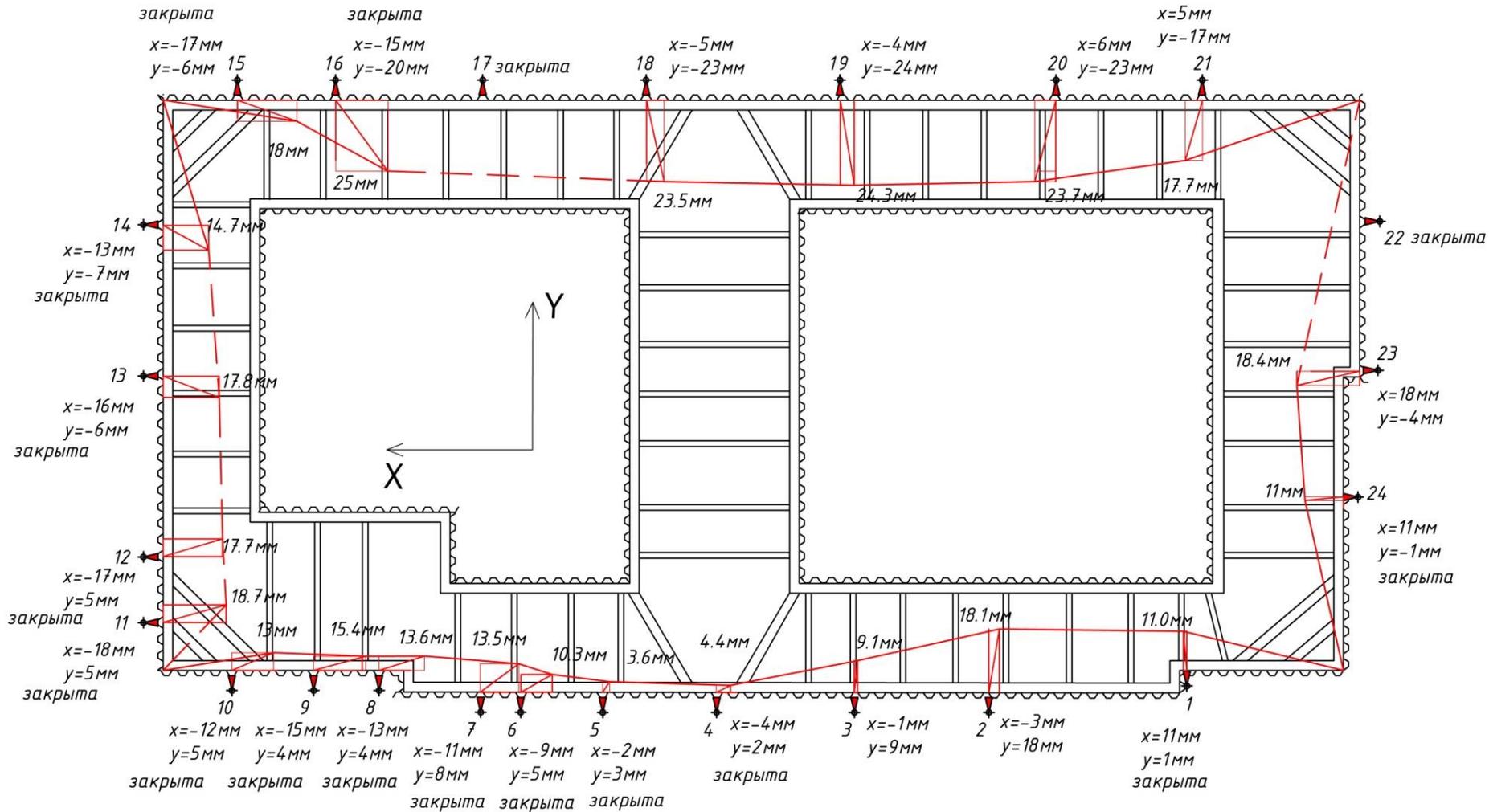
**Марки, расположенные на здании по адресу: пер. Джамбула, д. 14**



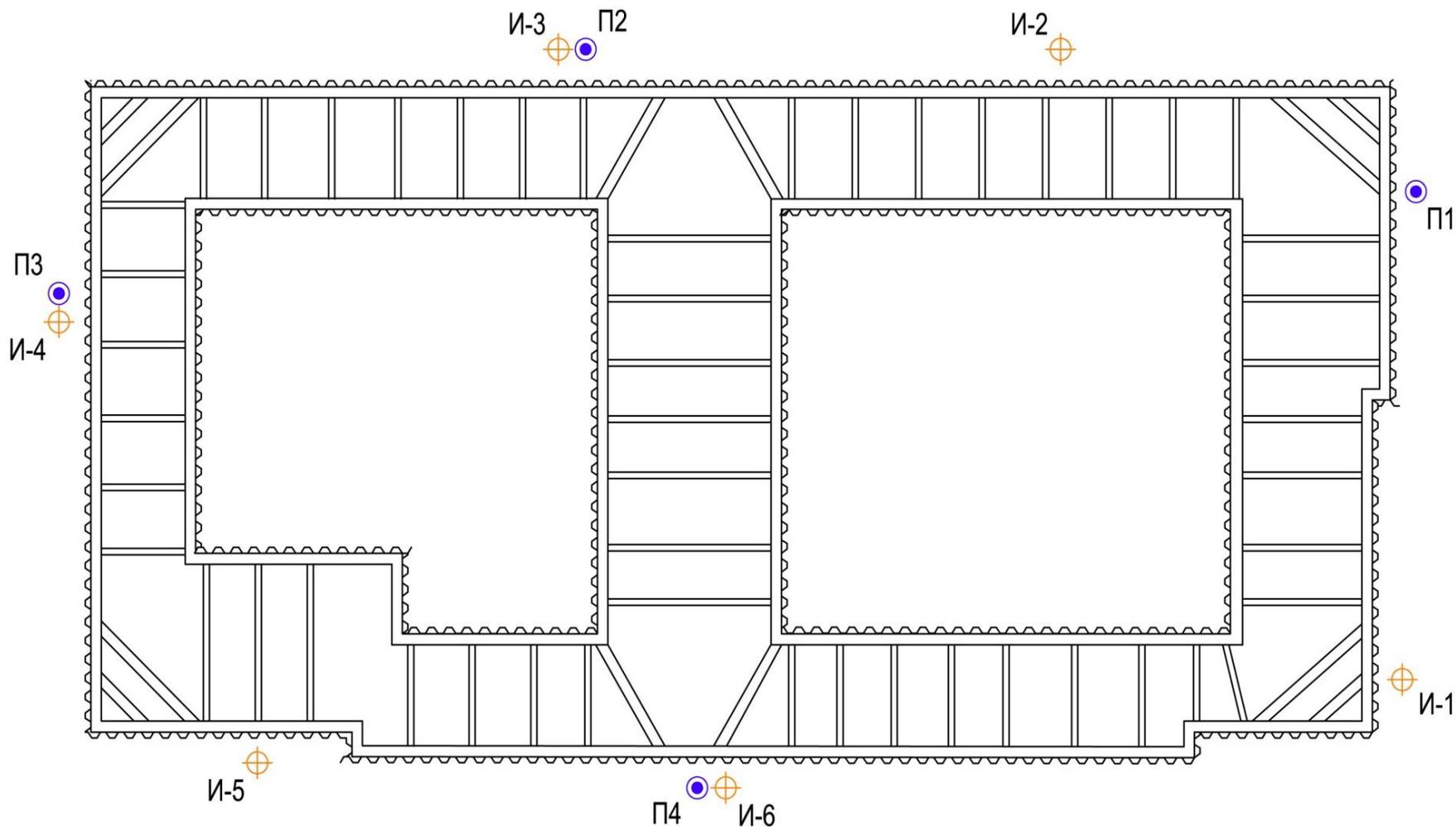


Сопоставление результатов расчета и натуральных наблюдений за развитием осадков во времени

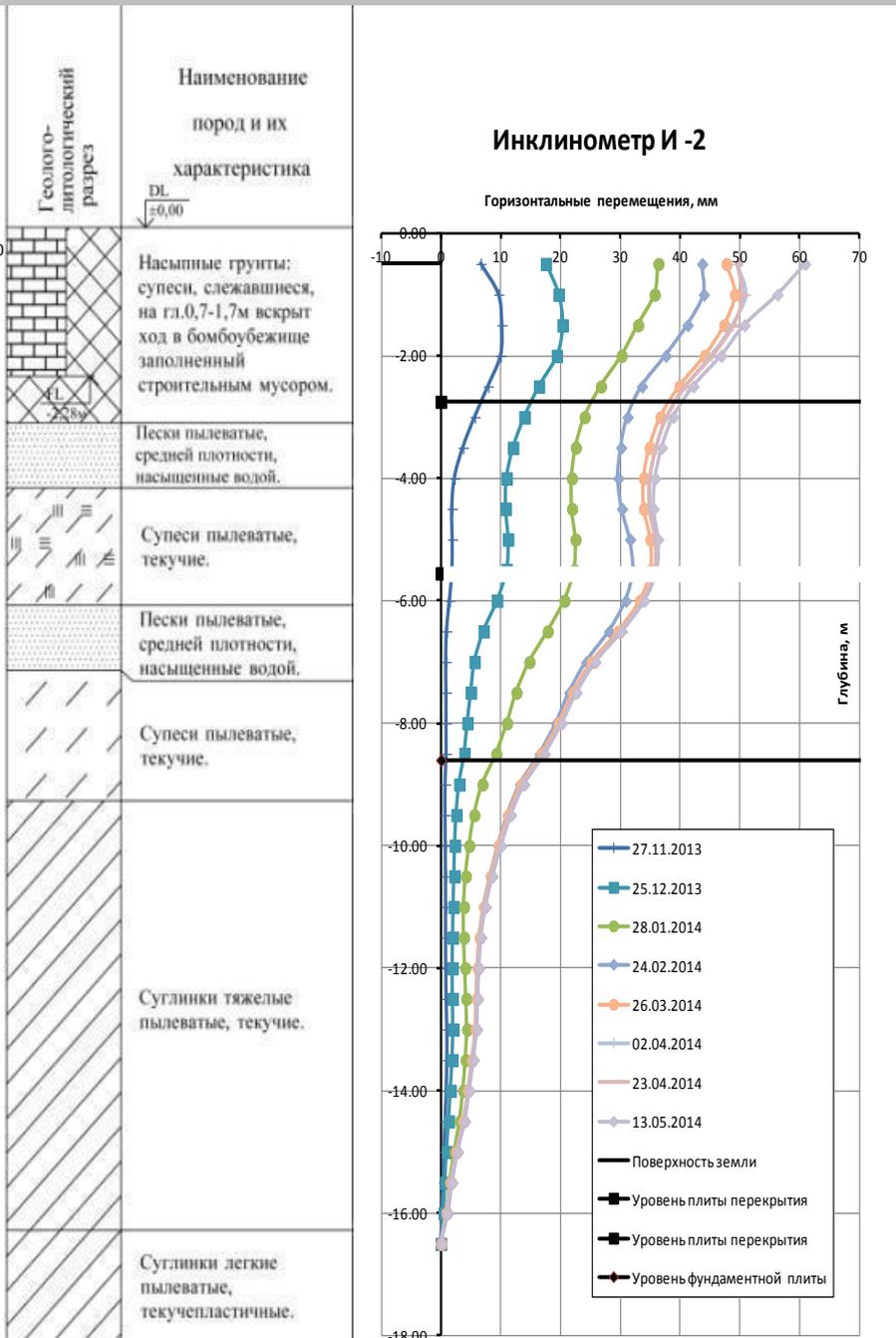
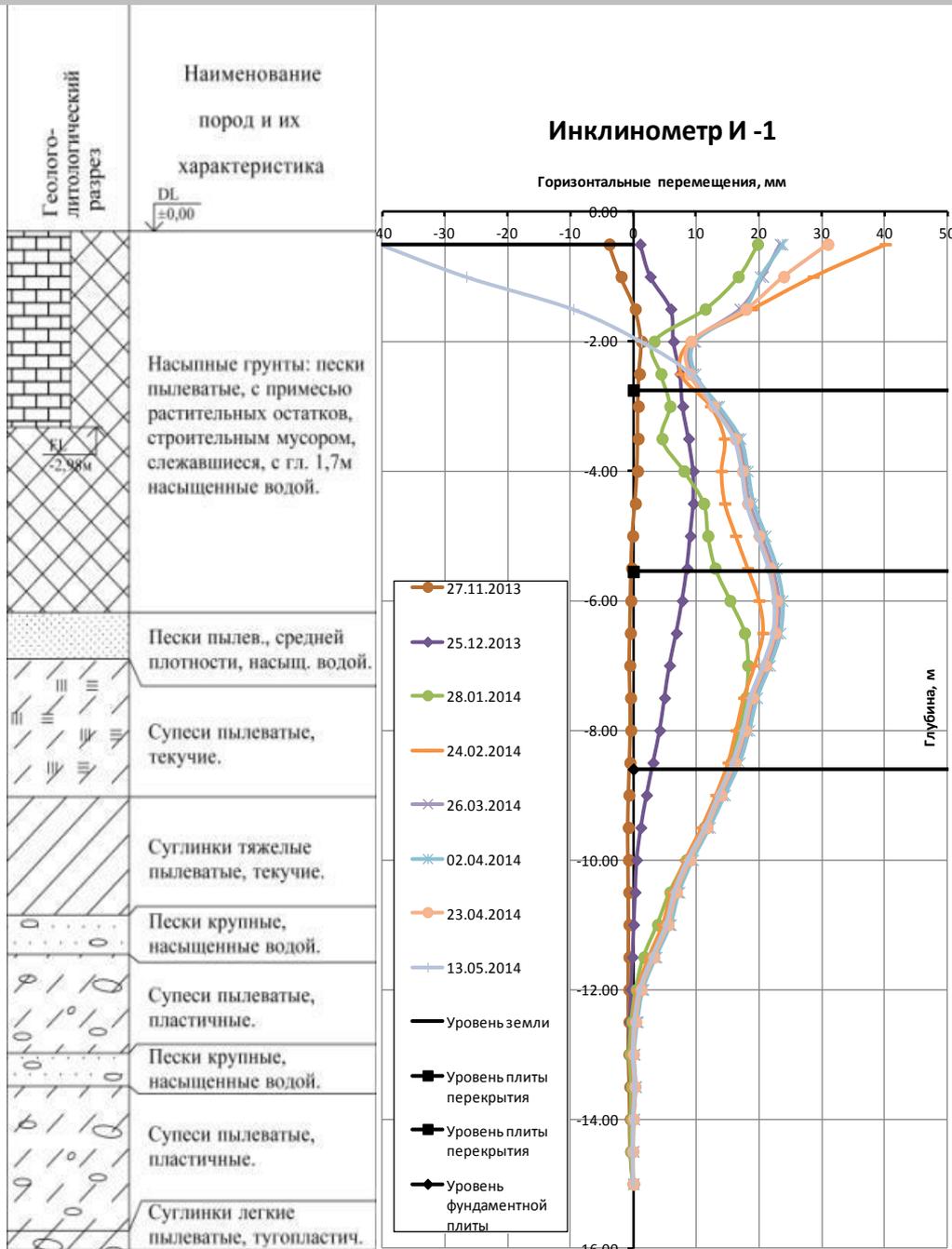
# Эпюра смещения верха шпунта по светотражающим маркам на 13.05.2014г.



# Схема расположения инклинометров и пьезометров



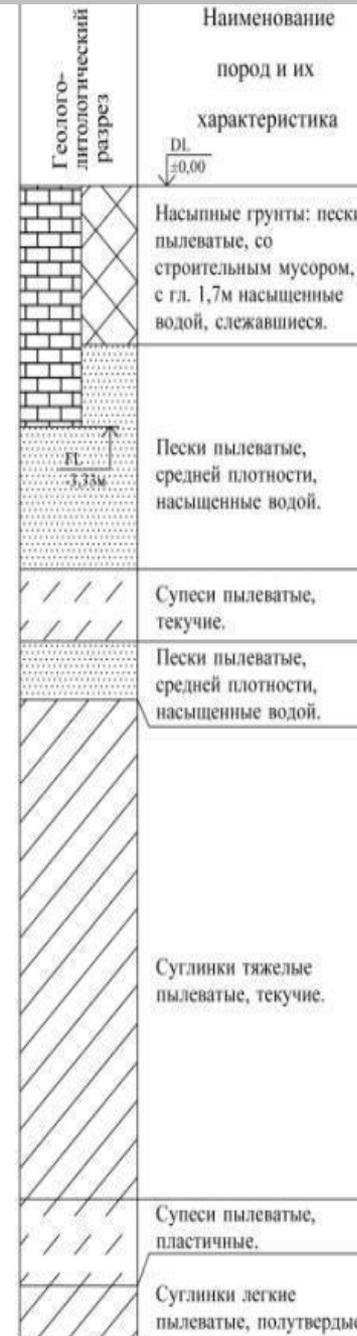
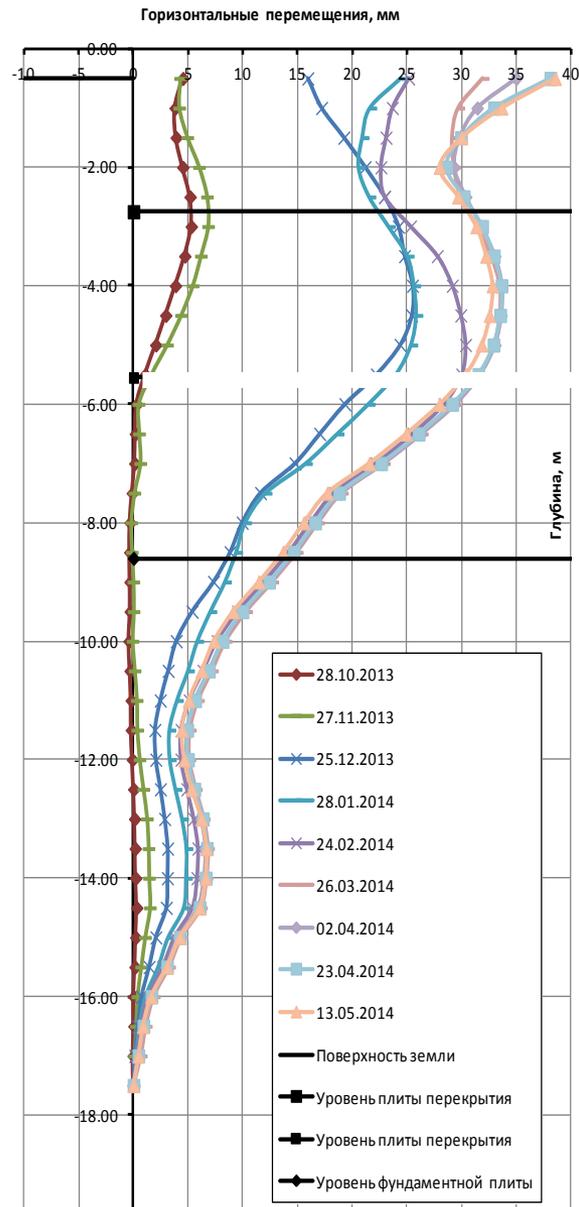
# Результаты измерений горизонтальных смещений по инклинометрам



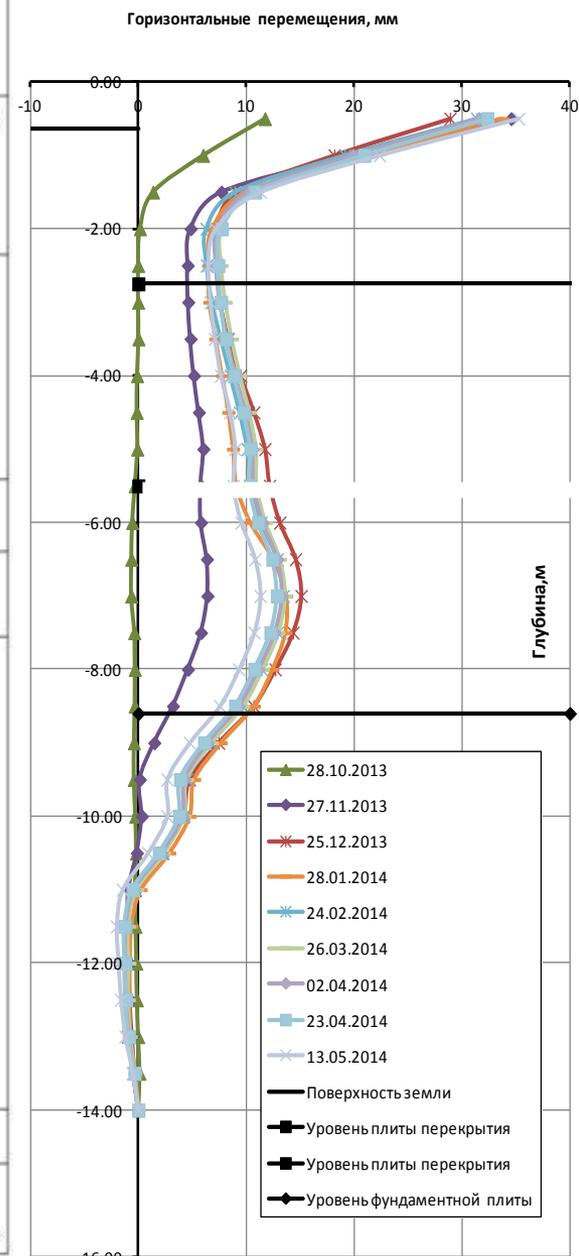
# Результаты измерений горизонтальных смещений по инклинометрам



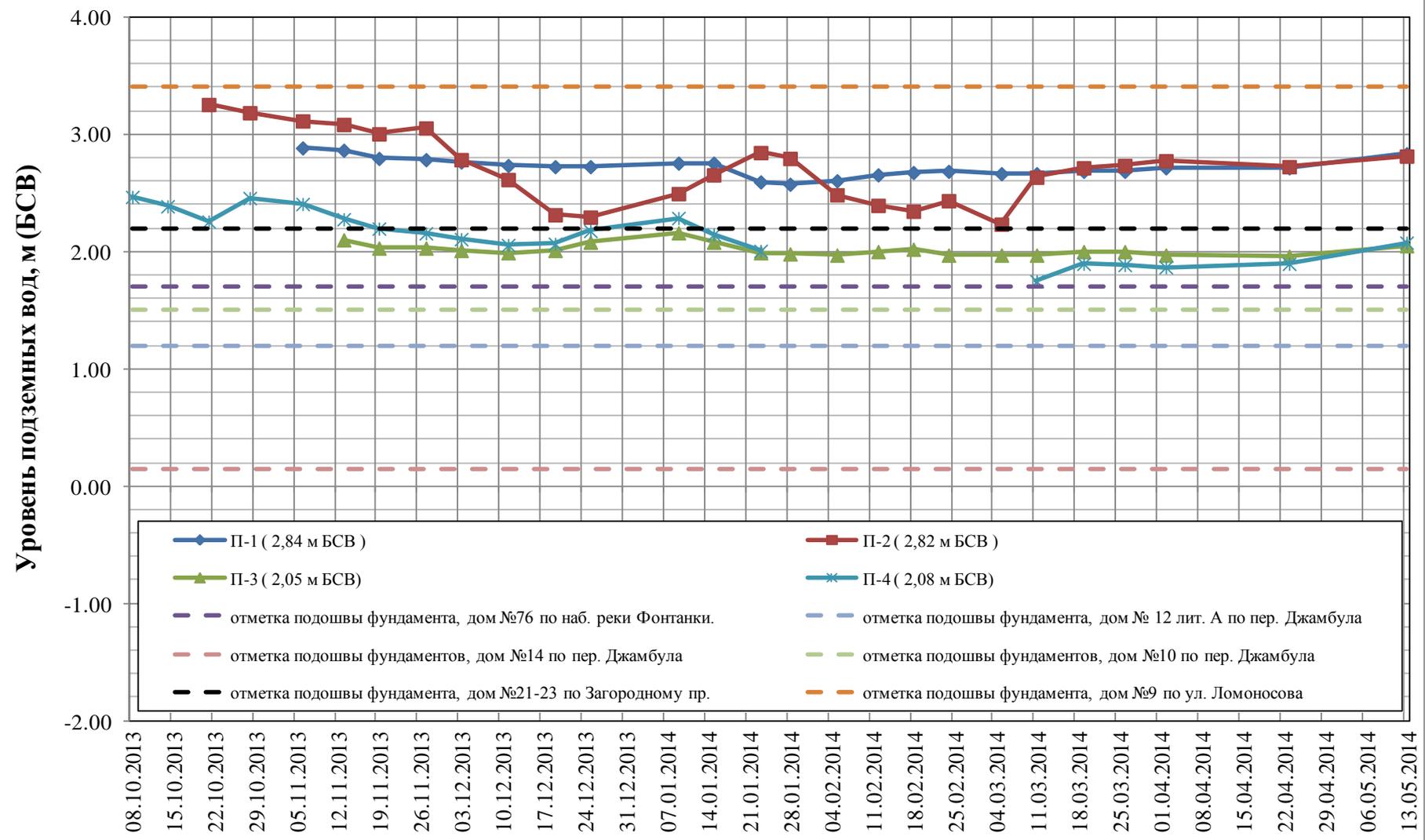
## Инклинометр И -3



## Инклинометр И -5



# Положение уровня грунтовых вод по пьезометрам

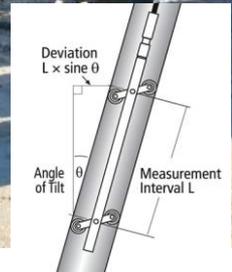
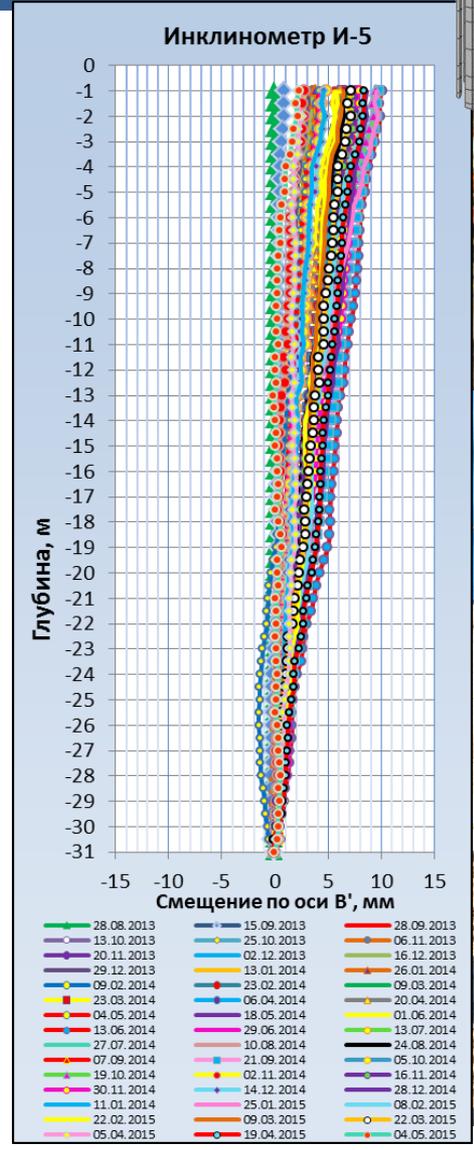
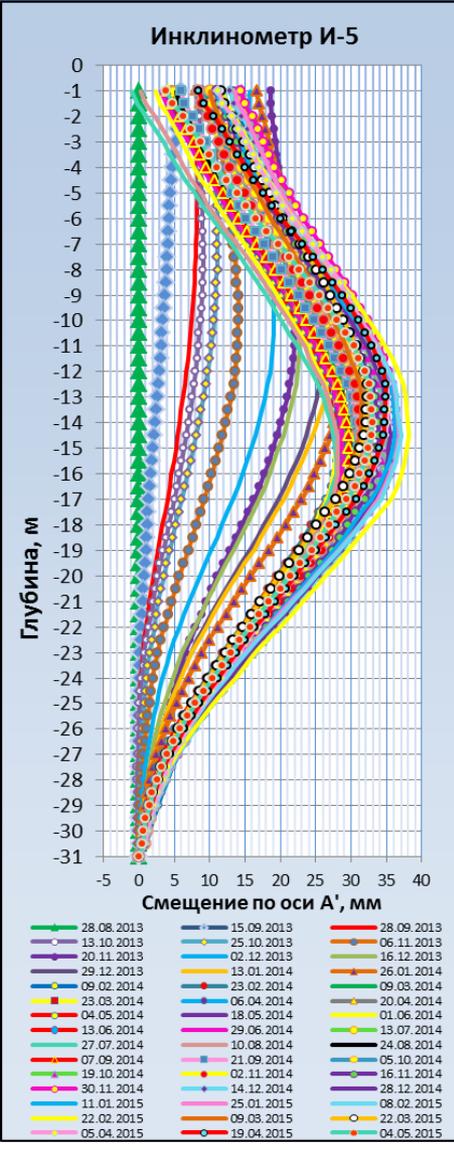


# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

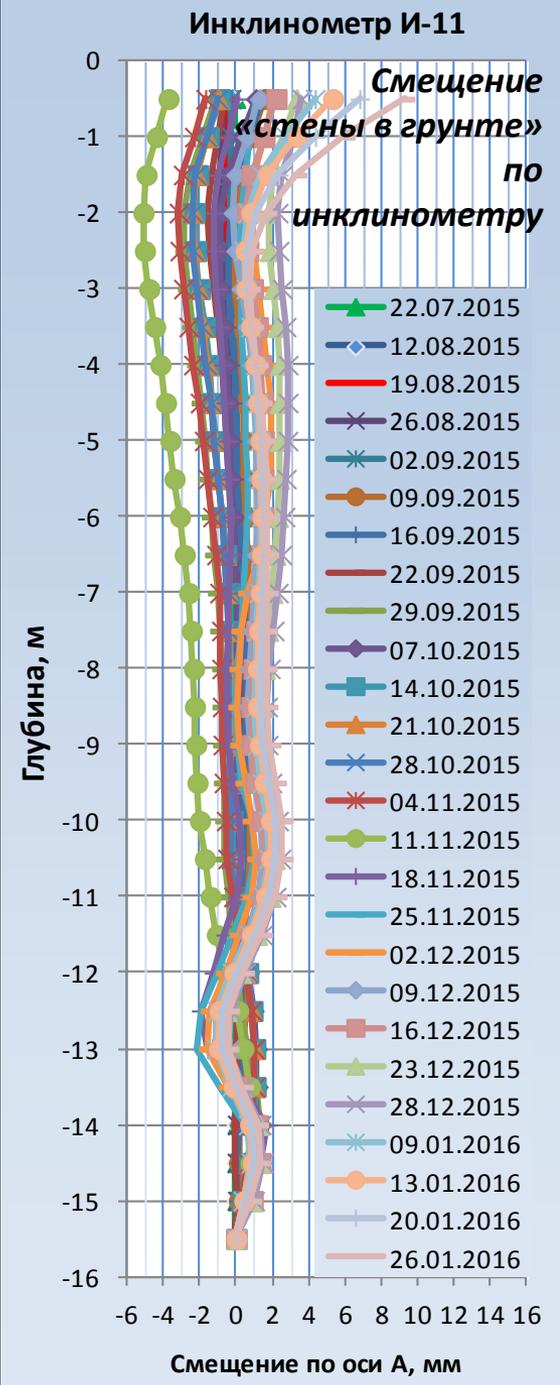
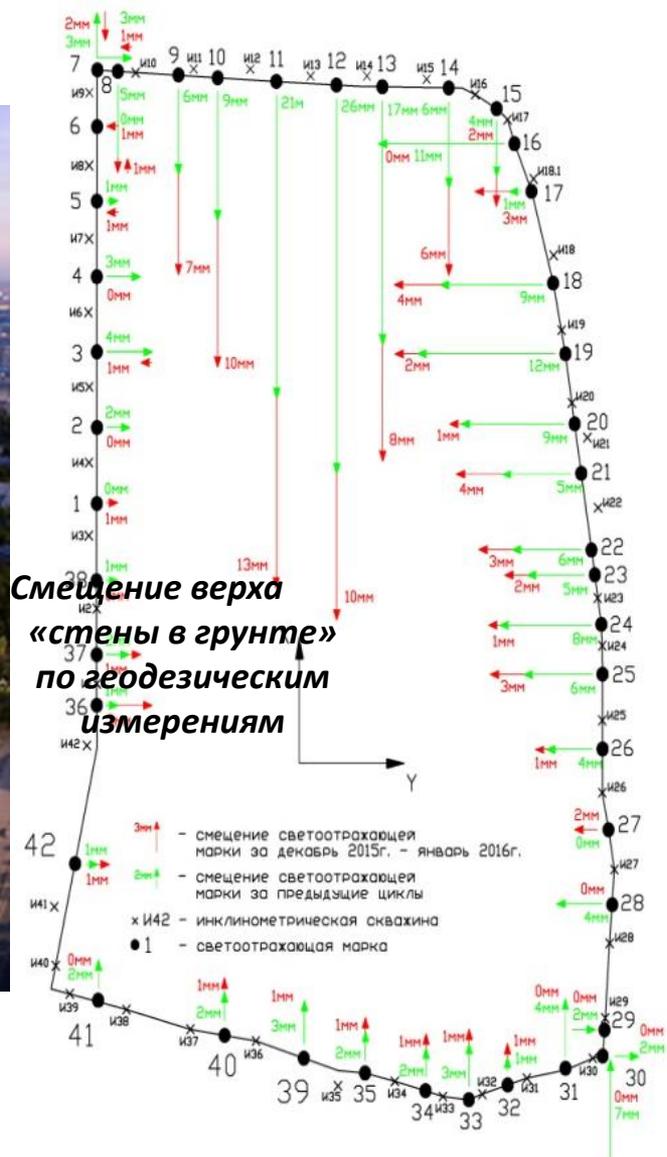
1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства. Часть 5. Другие примеры мониторинга
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

# Пример мониторинга при строительстве высотного здания в Санкт-Петербурге



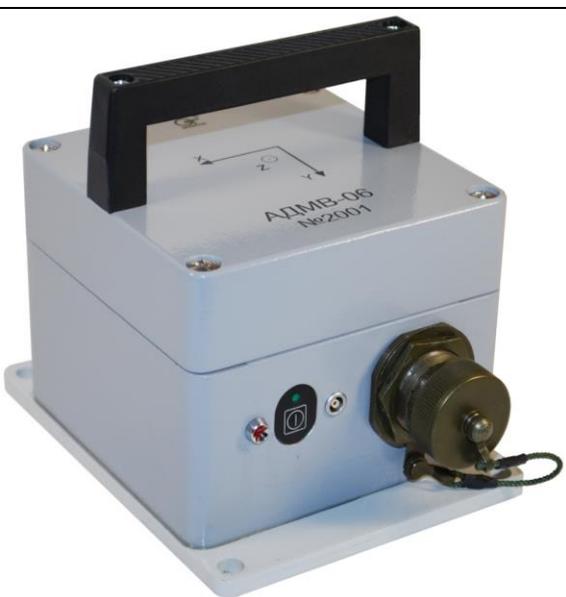
# Пример мониторинга при строительстве высотного здания в Минске



# Мониторинг технического состояния земляных сооружений

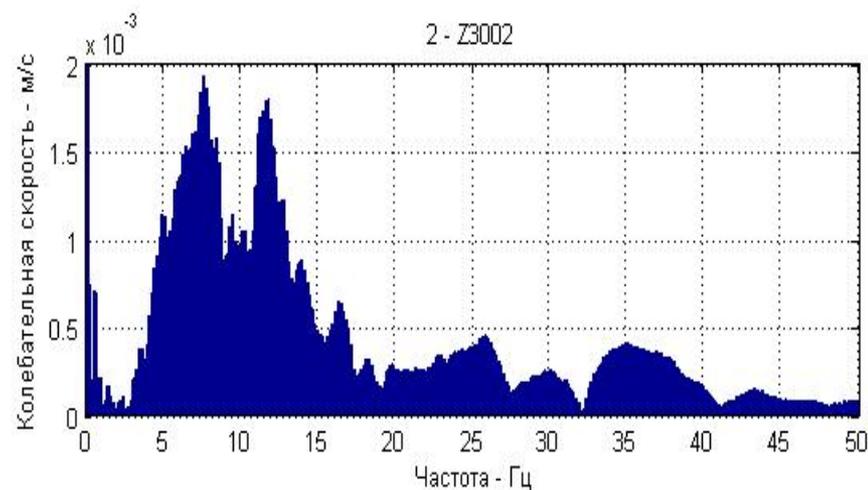
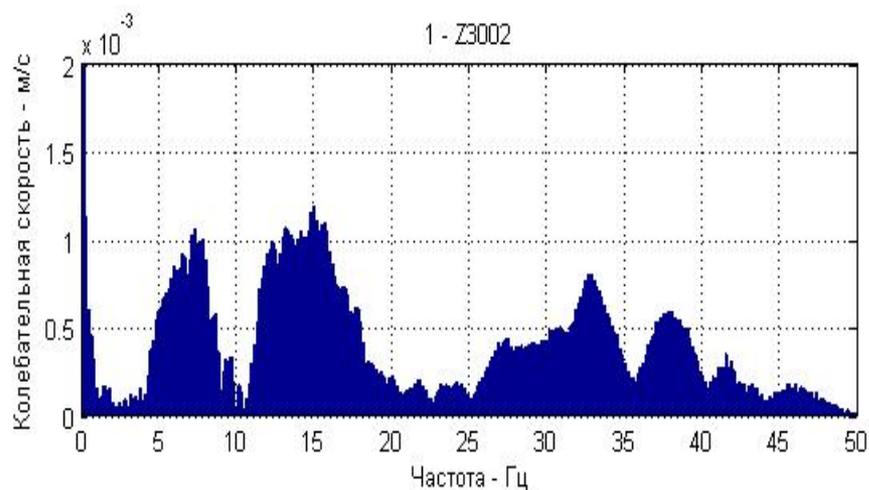
Использование оригинальных разработок в  
области геофизических исследований

*Аппаратура, используемая для регистрации  
сейсмической эмиссии земляных сооружений  
(измерение спектральных характеристик  
микросейсмов и любых других источников  
возбуждения колебаний в грунтовой среде),  
состоит из программно-аппаратного  
высококочувствительного комплекса АДМ-06  
(трехкомпонентные сейсморегистраторы).*

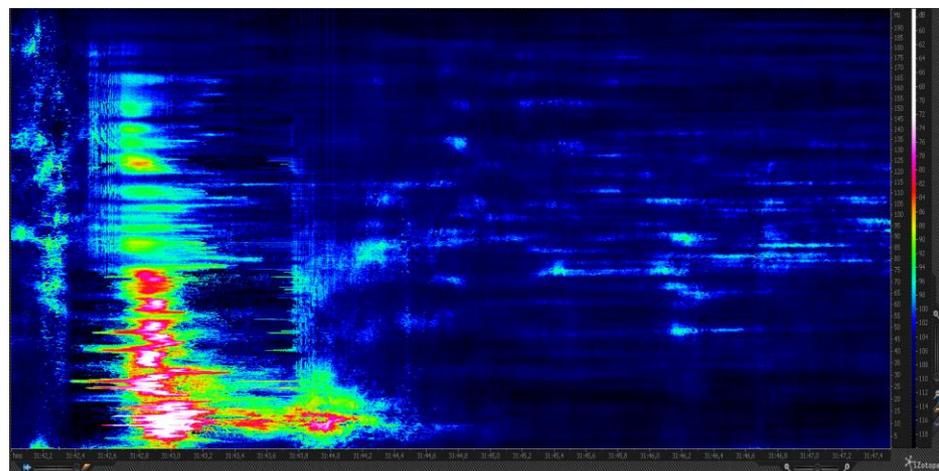
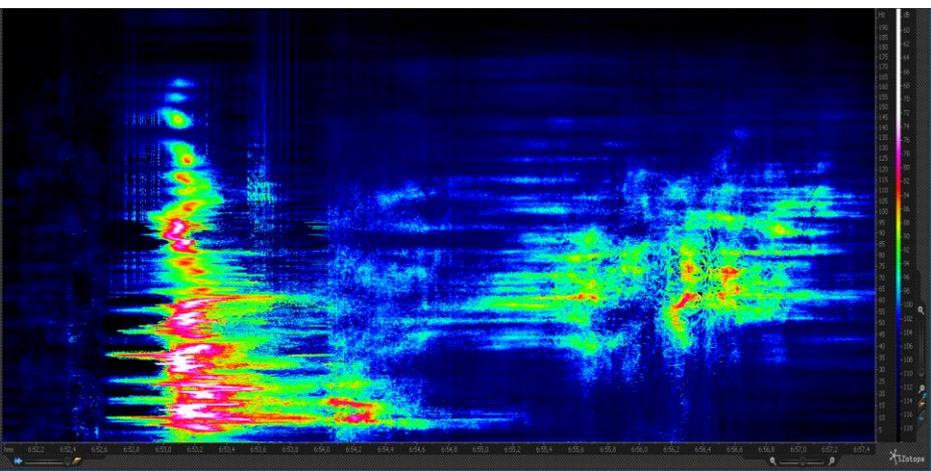


# Мониторинг технического состояния земляных сооружений

Динамические спектральные характеристики откликов грунта, зарегистрированного АДМВ-06. Изображение слева – слабое основание до глубинного динамического уплотнения, справа – после.



Пример вейвлет-анализа записей сейсморегистраторов АДМВ-06

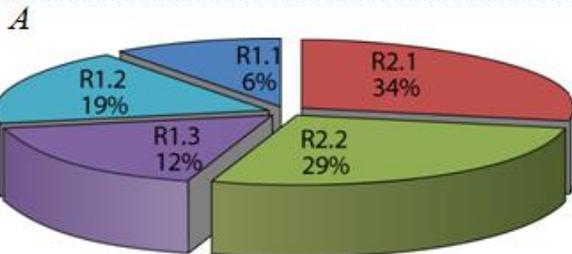


# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

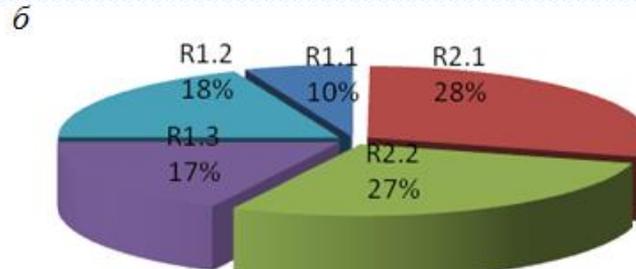
1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

# Структура причин деформаций

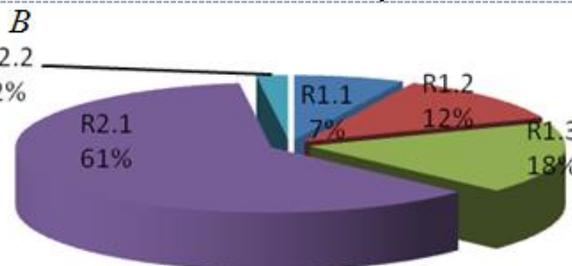


объекты Уфы

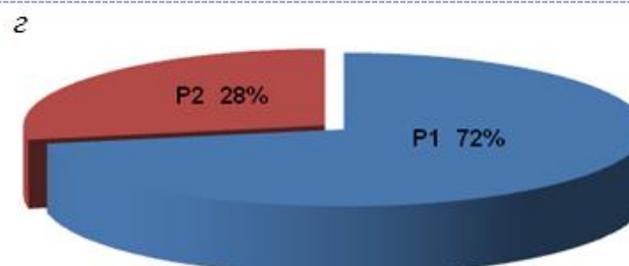


разные города России

причины отказов оснований и фундаментов зданий по Э.И. Мулюкову

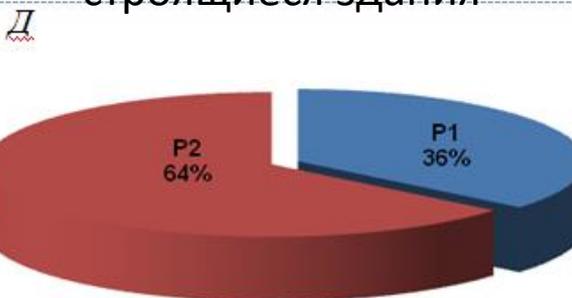


строящиеся здания

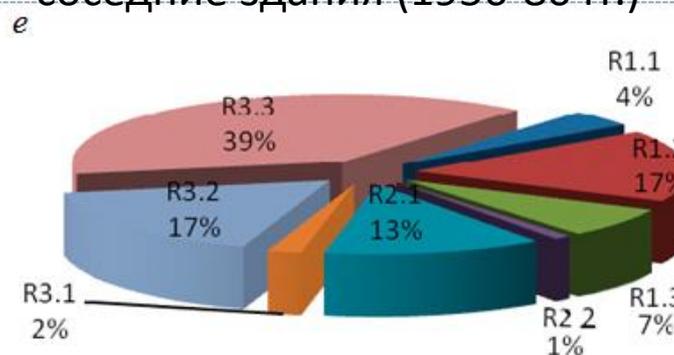


соседние здания (1956-80 гг.)

причины отказов зданий в Петербурге – по В.М. Улицкому



соседние здания (1980-98 гг.)



соседние здания (1995-2000гг.)

P1 – осадки в процессе эксплуатации; P2 – использование критических технологий; R1.1 – причины, вызвавшие отказ из-за упущений на стадии изысканий; R1.2 – то же, на стадии проектирования; R1.3 – то же, на стадии производства работ; R2.1 – то же, на стадии эксплуатации зданий; R2.2 – то же, на стадии эксплуатации территории; R3.1 – недостатки изысканий для объекта соседнего строительства; R3.2 – недостатки проектирования объекта соседнего строительства; R3.3 – недостатки при производстве работ на соседнем объекте

## Определение риска

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

- где  $\text{Prob}(F)$  – вероятность наступления некоторого неблагоприятного (опасного) события,
- $\text{Prob}(C)$  – вероятность наступления негативных последствий, обусловленных этим событием



# Критерии безопасности соседней застройки

■ ТСН 50-302-96  $S_{ad} \leq S_{ad, u}$  (1)

■ МГСН  $S + S_{ad} \leq S_{u \text{ полн}}$  (2)

■ ТСН 50-302-2004:  $\sum_{i=0}^6 S_{ad}^i \leq S_{ad u}$ , (3)

$$\sum_{i=1}^6 S_{ad}^i = S_{ad}^1 + S_{ad}^2 + S_{ad}^3 + S_{ad}^4 + S_{ad}^5 + S_{ad}^6 \quad (4)$$

Техногенные факторы по типу воздействия  
разделяются на три группы:

- статические;
- связанные с изменением режима подземных вод;
- технологические

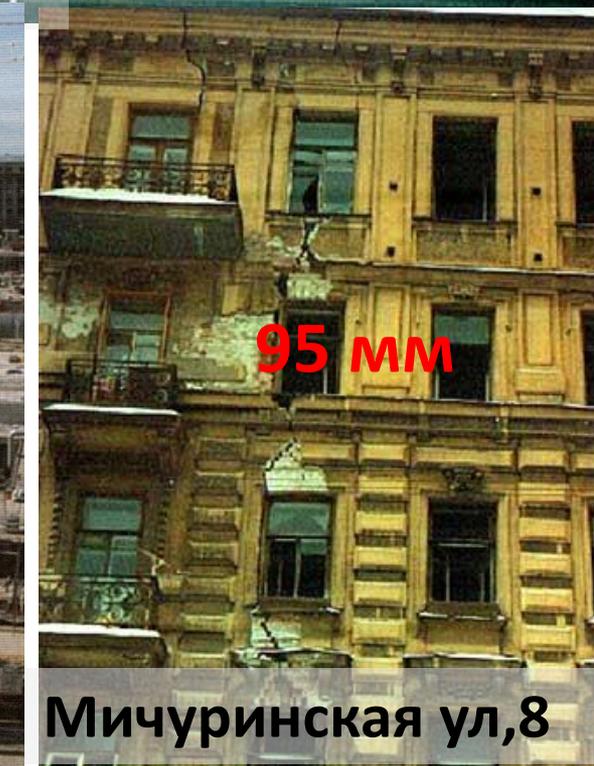
а по продолжительности  
воздействия – на два  
класса:

- постоянные;
- временные

# Примеры влияния возведения глубоких котлованов на соседнюю застройку

№ п/п	Наименование объекта	Глубина котлована	Зона влияния устр-ва котлована	Расстояние от котлована до соседней застройки	осадка соседней застройки: <u>общая</u> в период устройства котлована
1.	Гостиница «Невский Палас»	8 м	50 м	1,5 м	<u>&gt;250 мм</u> –
2.	Жилой дом на Мичуринской ул.	5 м	25 м	3 м	<u>95 мм</u> –
3.	Коммерческий комплекс у Московского вокзала	8 м	50 м	10-15 м	<u>150 мм</u> 80 мм
4.	Коммерческий комплекс на пл. Восстания («Стокман»)	14 м	20 м	1,5 м	<u>95 мм</u> 60 мм
5.	Гостиница на Гончарной ул.	7 м	20 м	1,5 м	<u>&gt;70 мм</u> –
6.	Вторая сцена Мариинского театра	12м	30 м	15 м	<u>95 мм</u> 70 мм

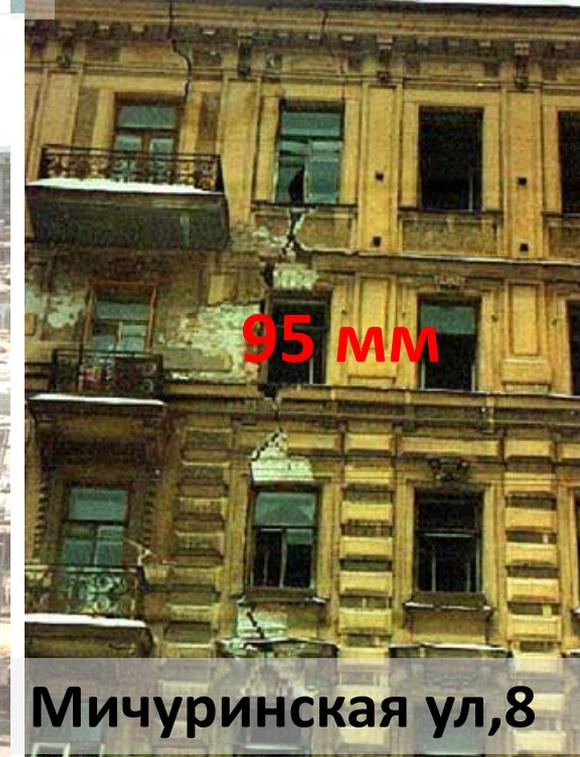
# Проблемы подземного строительства:



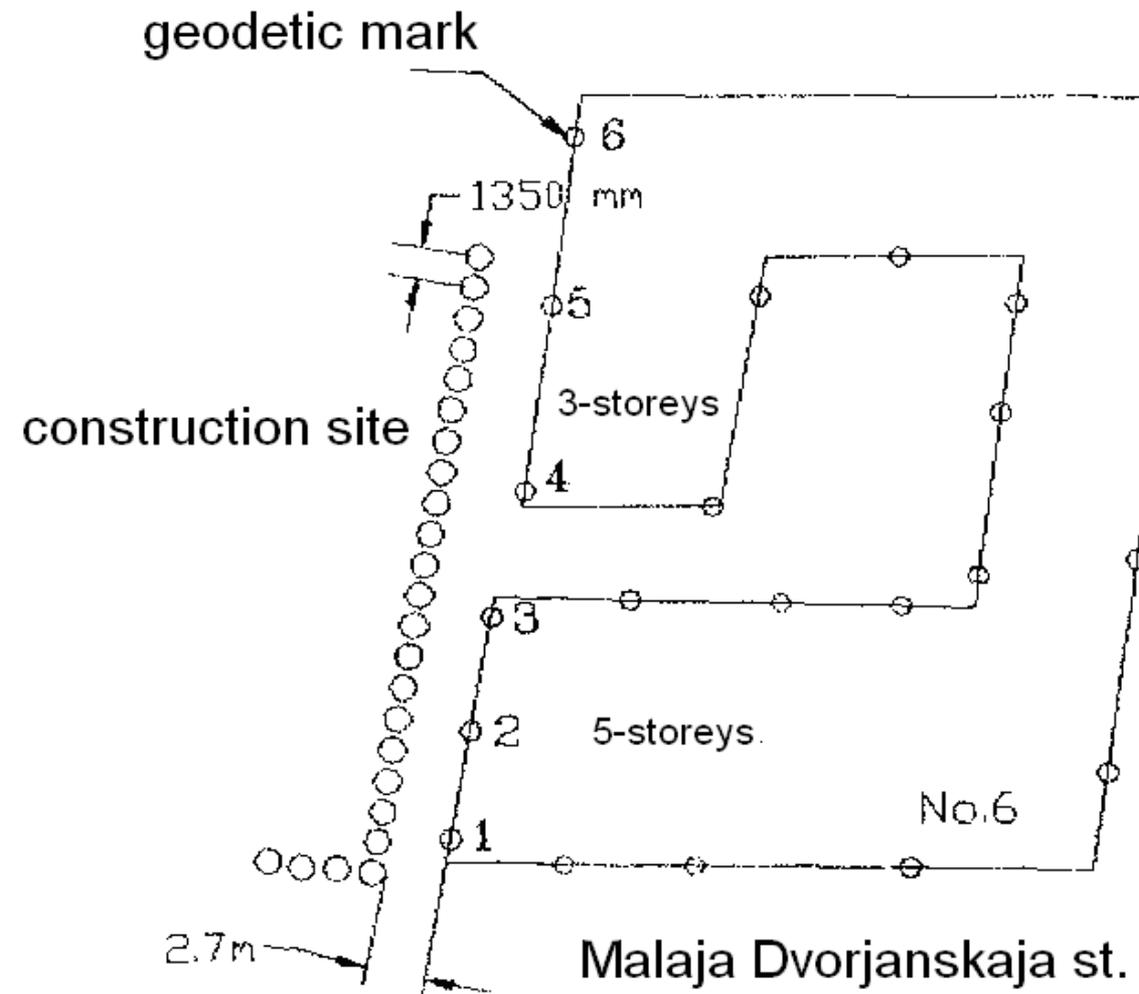
# Проблемы подземного строительства:



Невский пр., 55-59



# Технологические факторы: возведение разделительной стенки из буронабивных свай

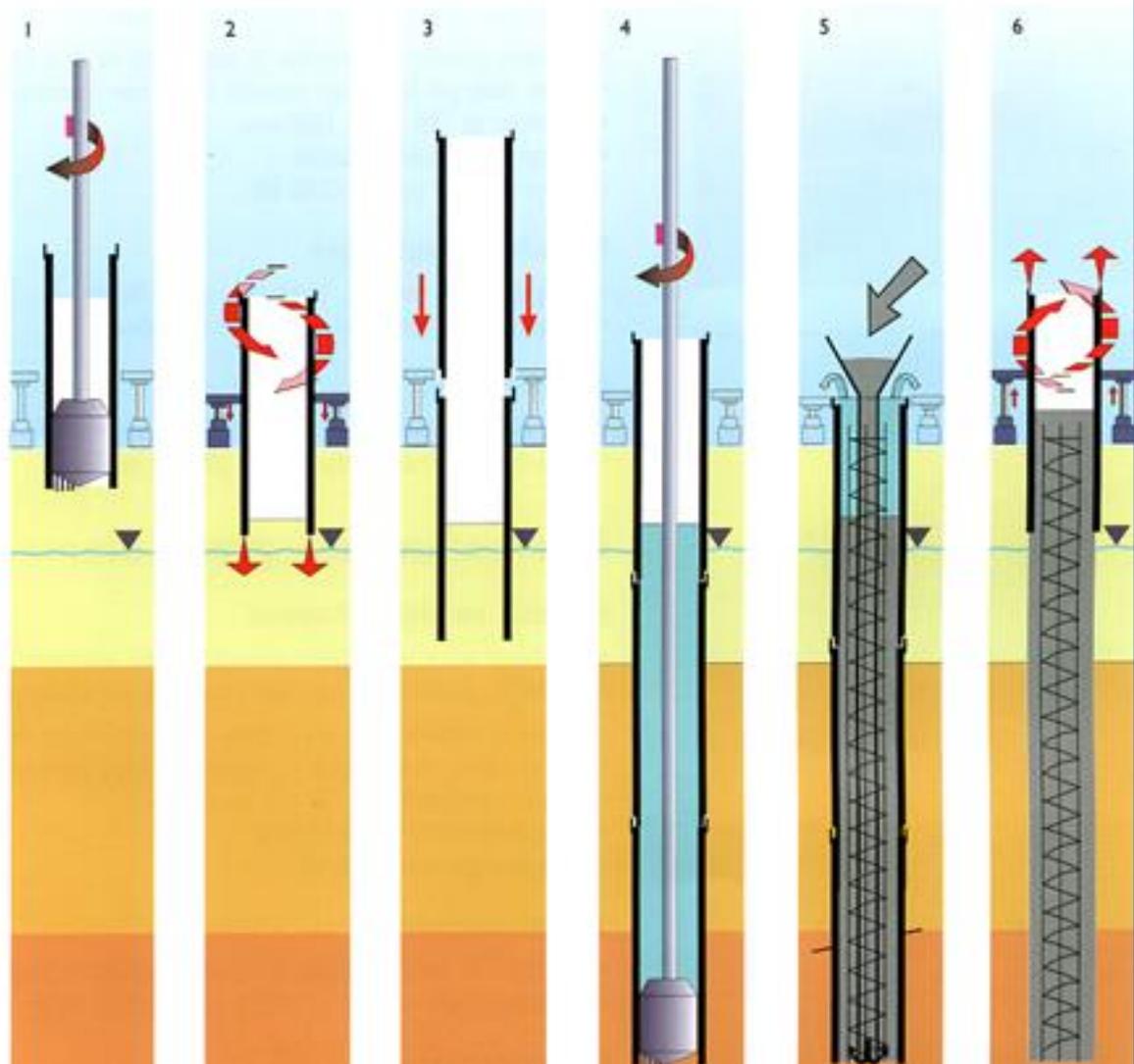


План строительной площадки

# Сваи под защитой инвентарных обсадных труб

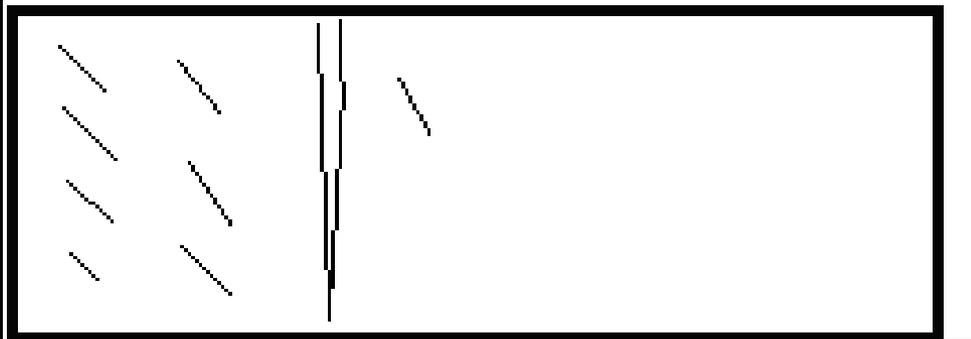
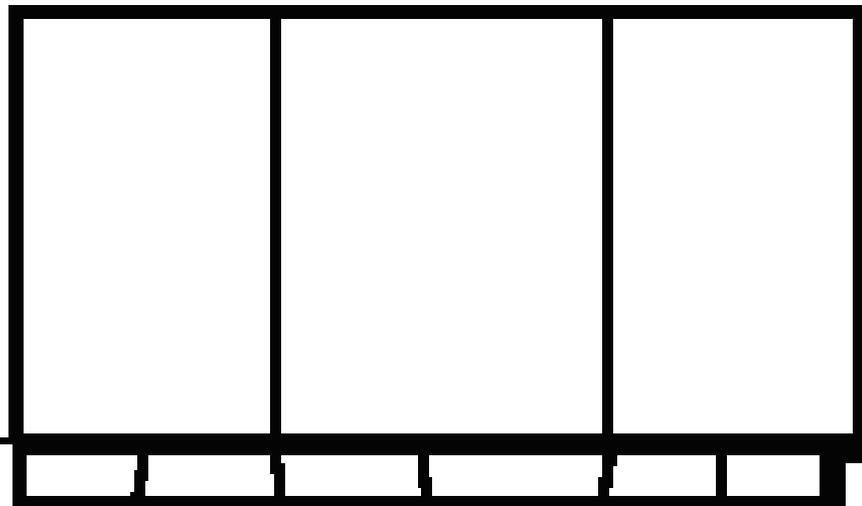
Извлечение грунта из труб осуществляется:  
желонкой или  
коротким шнеком

- ◆ («Bauer» и «Cazagrande», «Kato», «Benoto», «Junttann»)



New building

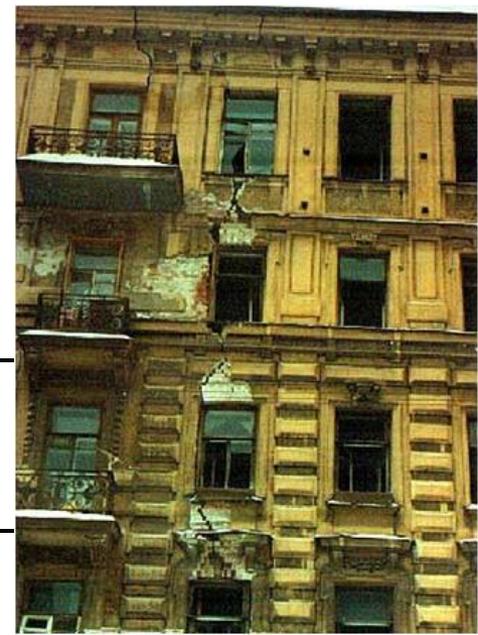
Existing building



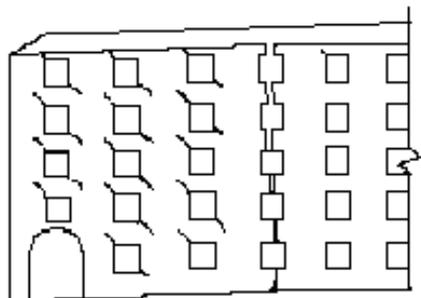
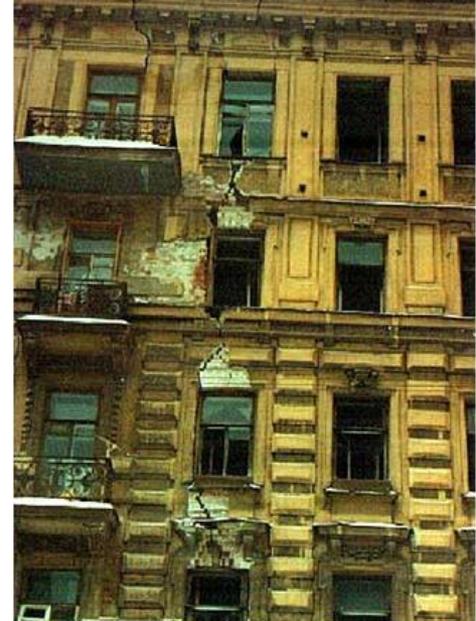
96 mil  
pile wall

Soft soils

Moraine loam



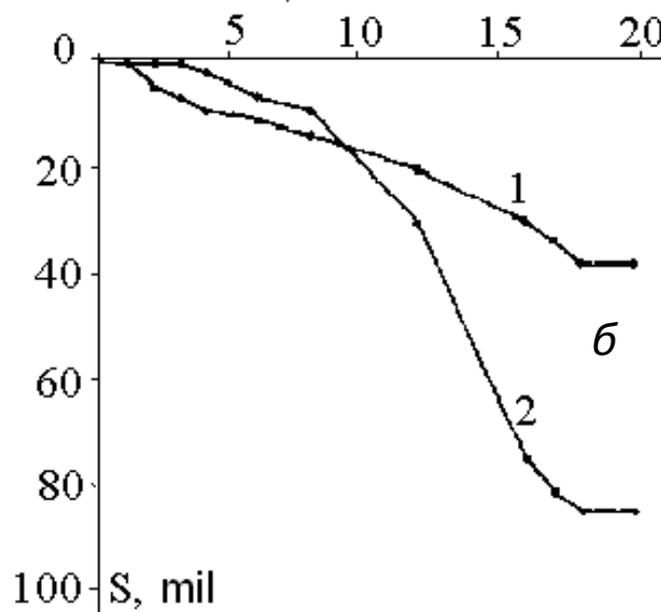
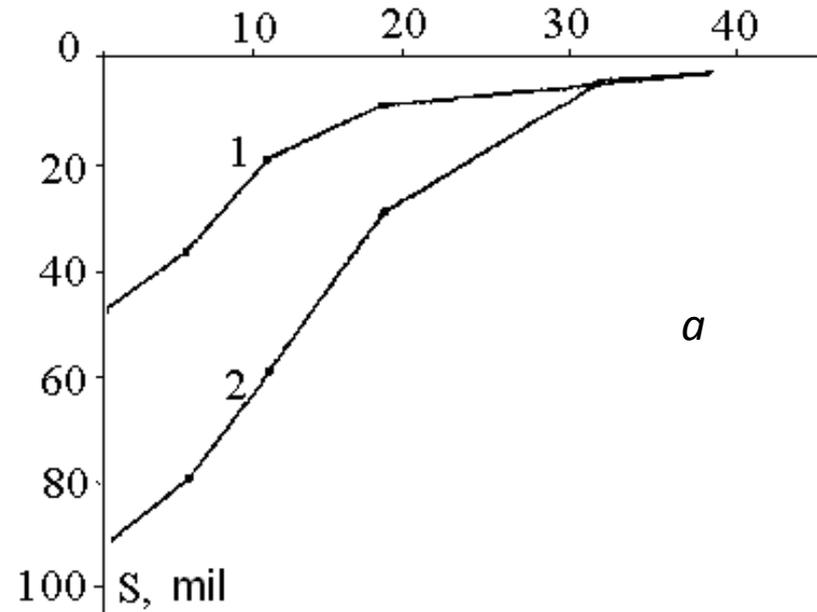
# Осадки существующего здания



Осадки 3-этажной (1)  
и 5-этажной (2)  
части существующего здания

Distance from the pile wall

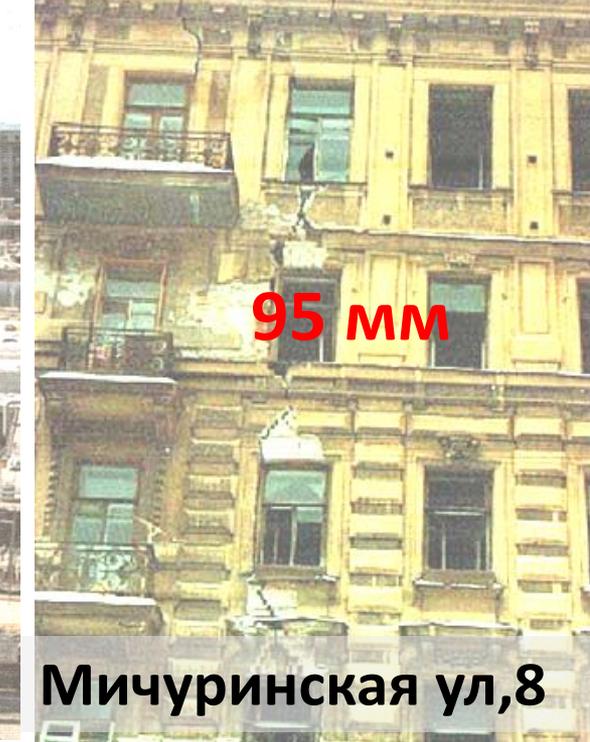
t, weeks



а – график осадок

б – развитие осадок во времени

# Разрушение зданий при строительстве подземного сооружения гостиницы «Невский Палас»



# Пример – развитие подземной инфраструктуры вокруг пл. Восстания



# Развитие подземной инфраструктуры вокруг пл. Восстания



# Проблемы подземного строительства

- Применение технологий фундаментостроения, не апробированных и не адаптированных в условиях Санкт-Петербурга

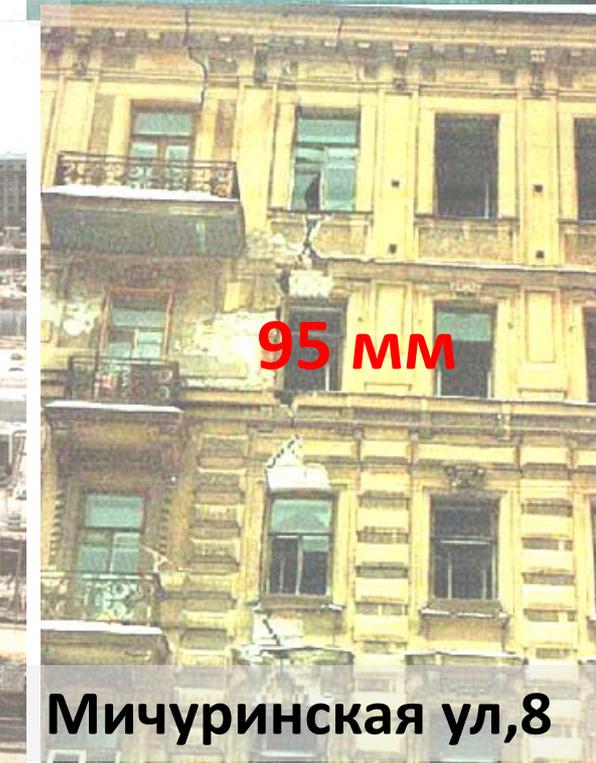
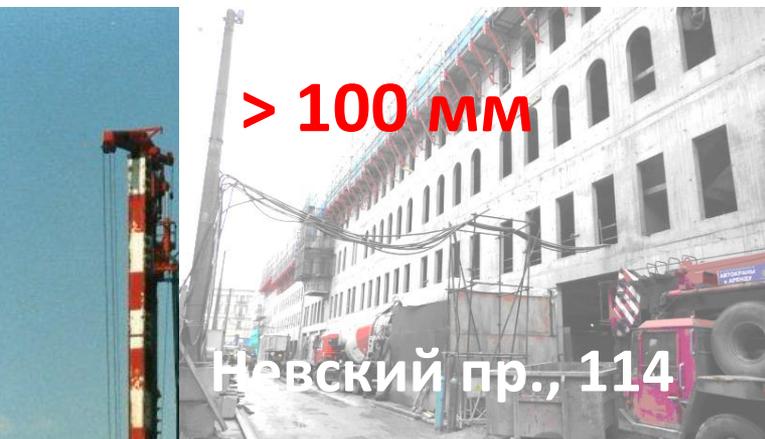


Разрушение зданий при строительстве подземного сооружения гостиницы «Невский Палас»

# Первый опыт подземного строительства – «Яма» у Московского вокзала



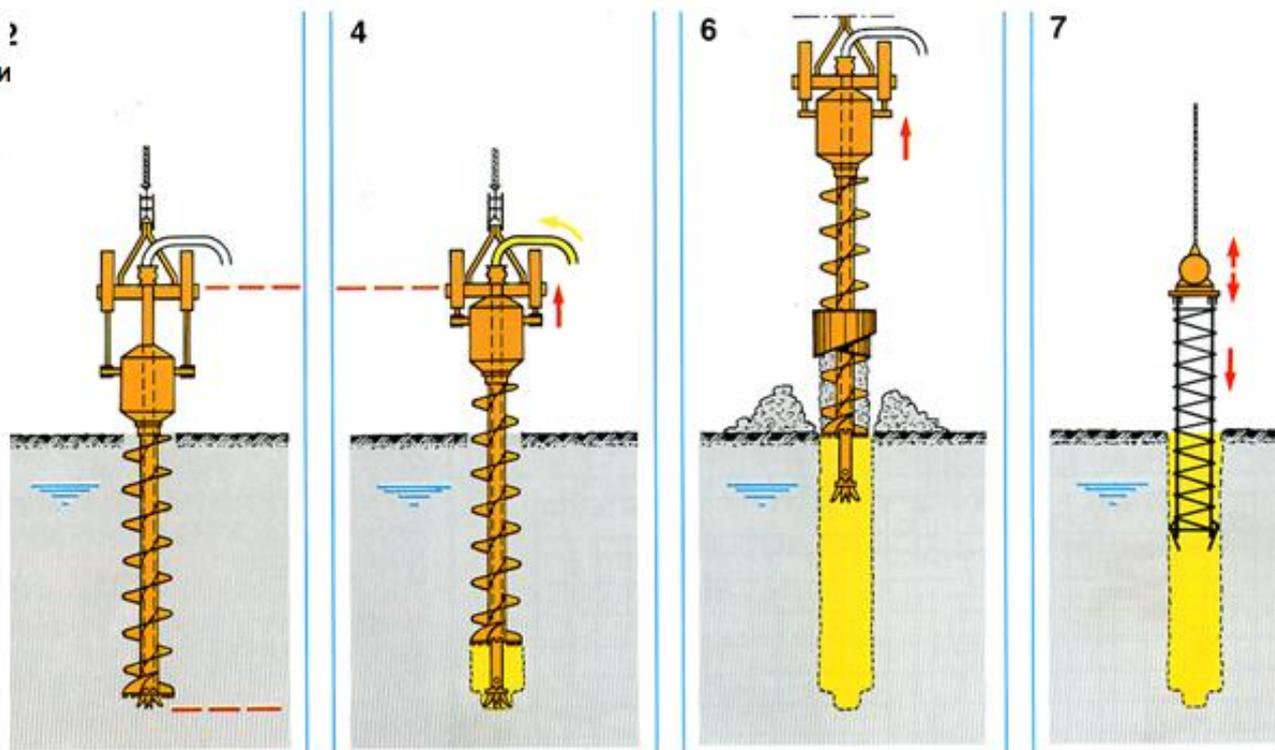
# Проблемы подземного строительства:



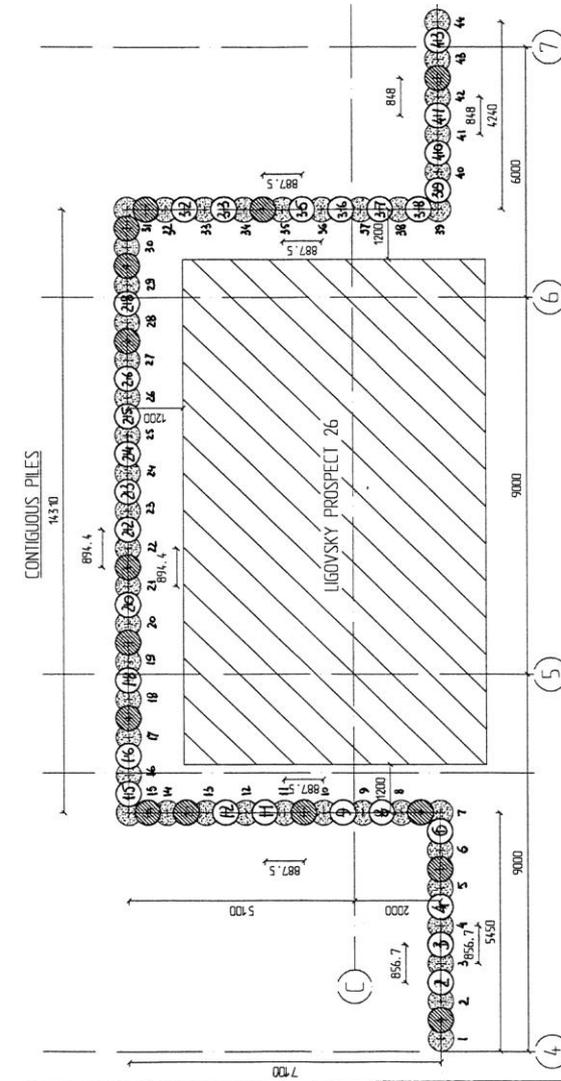
# Сваи СФА, устанавливаемые непрерывно перемещающимся проходным шнеком



- Последовательность:
- подготовка рабочей площадки для маневра буровой установки и доставки бетона;
- геодезическая разбивка положения свай на стройплощадке;
- бурение скважины до проектной глубины проходной шнековой колонной;
- подъем шнека с выдвиганием бетонолитной трубы и подачей бетона в скважину;
- подъем шнековой колонны с доливкой бетона;
- погружение вибратором армокаркаса;
- бетонирование головы сваи (доливка бетона).

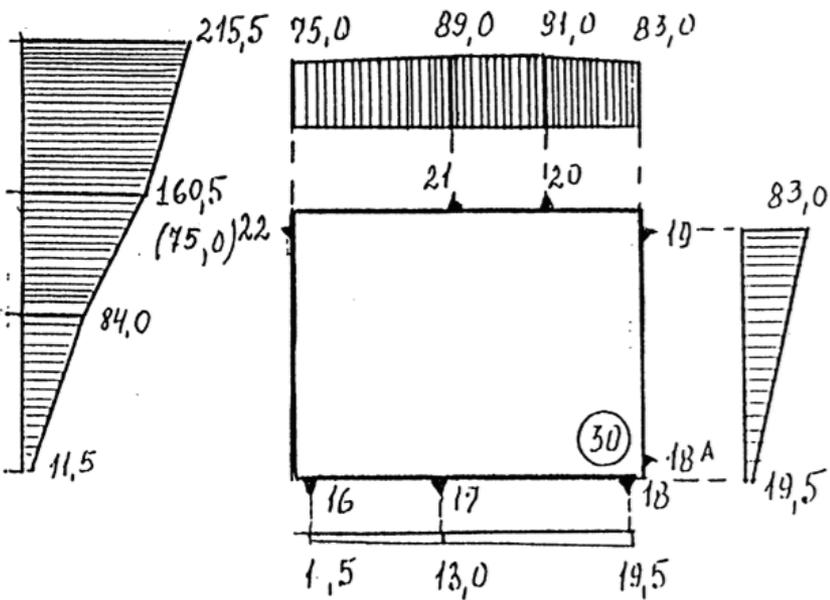
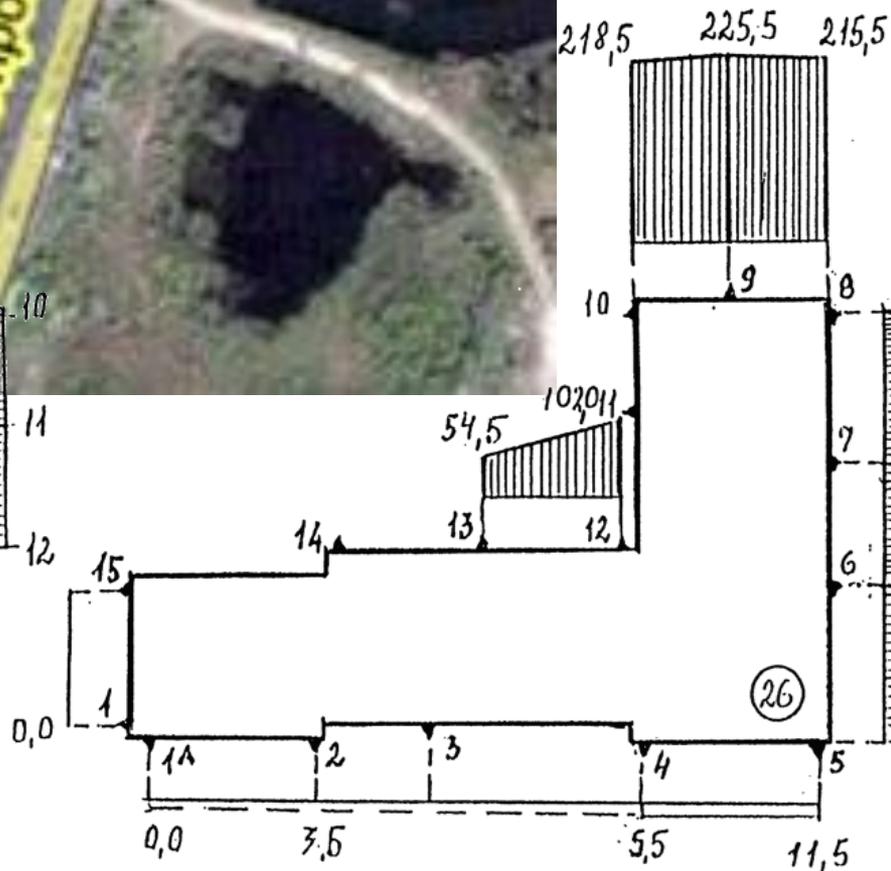
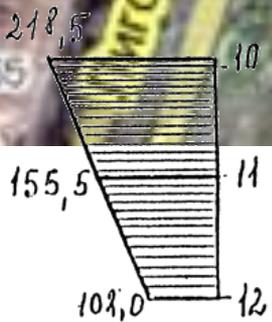


# Создание стены из секущихся свай по неапробированной технологии СВА





Осадки домов 26 и 30,  
которые «защищали»  
стеной из свай



# Дом Перцова (Лиговский 44). Влияние 1-го периода строительных работ

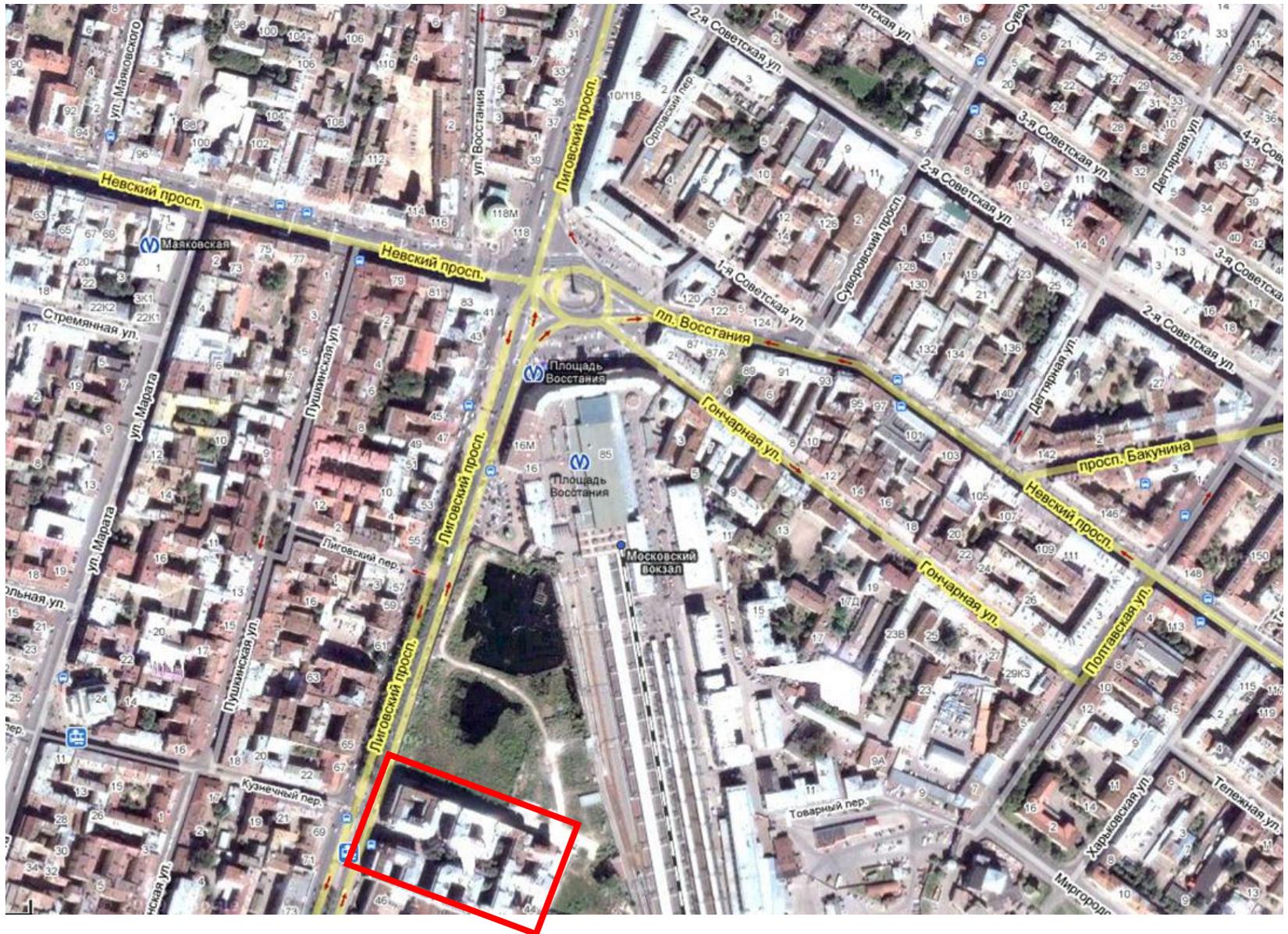
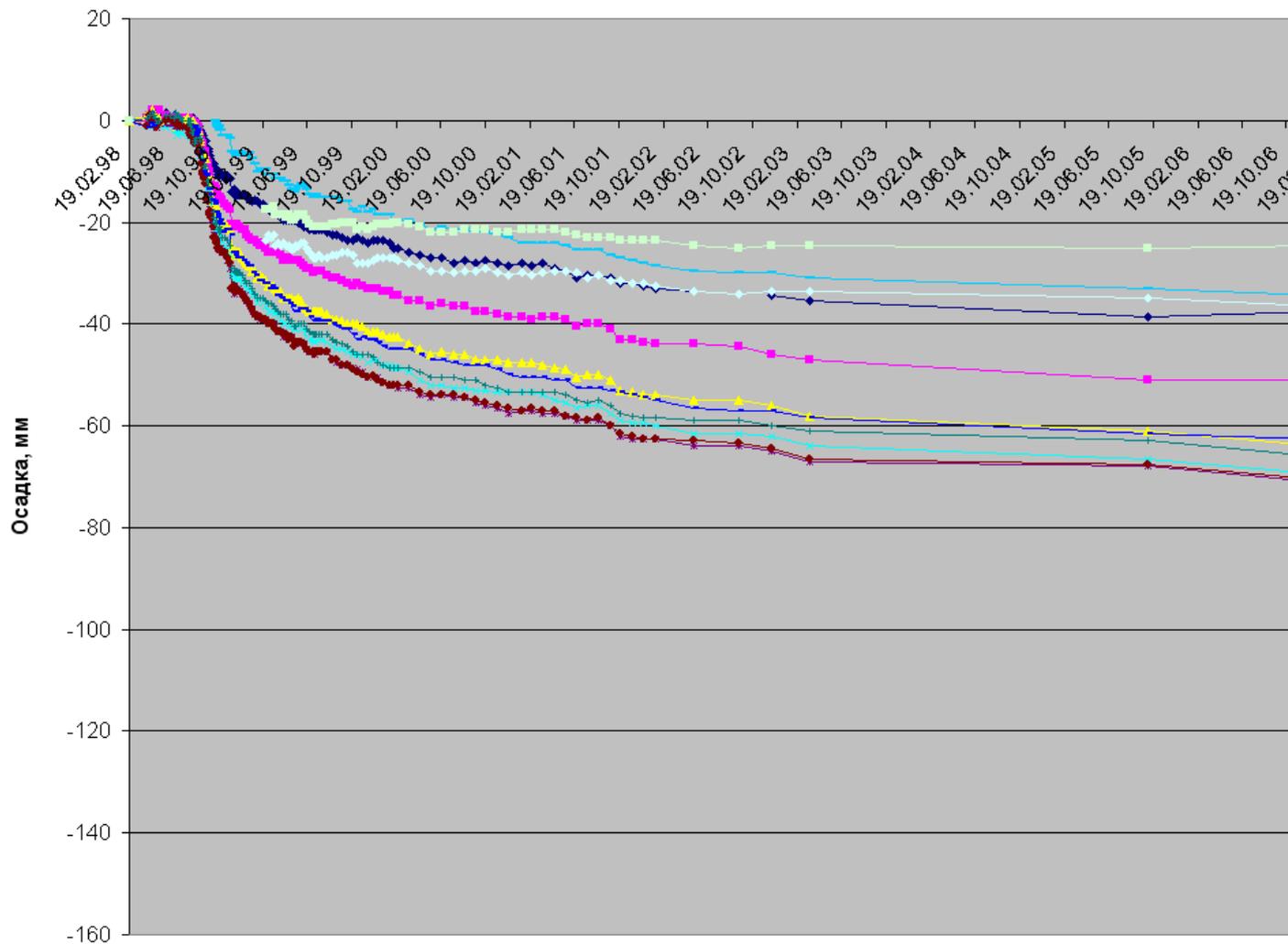


График вертикальных перемещений осадочных марок расположенных на м №44 по Лиговскому пр.



# Новый этап строительства у Московского вокзала

## Опытная площадка

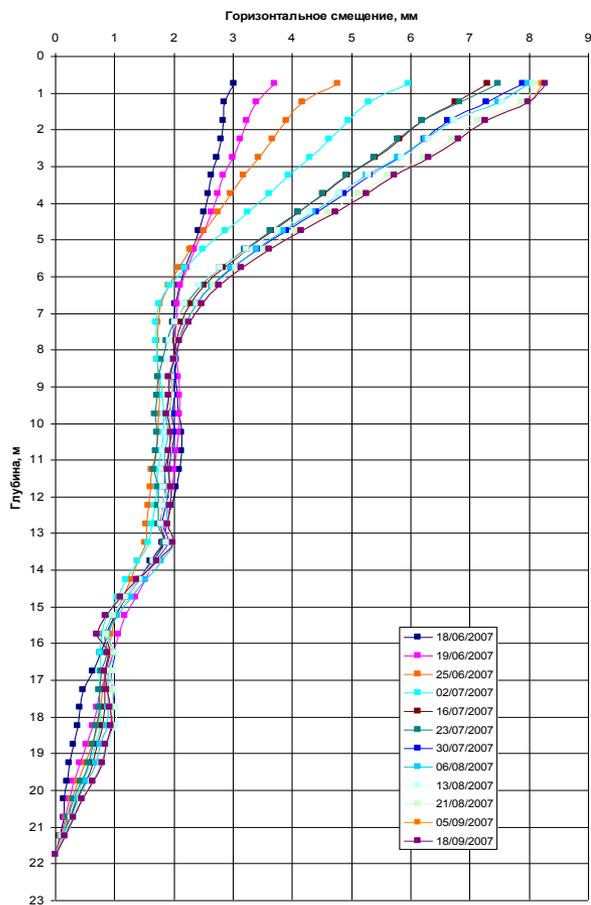




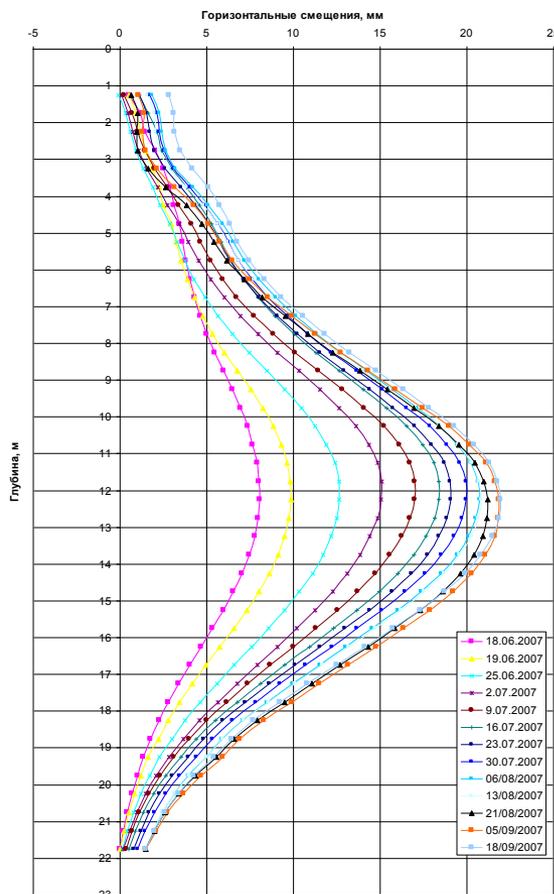
# Горизонтальные перемещения массива грунта (мм) на различном расстоянии от шпунта



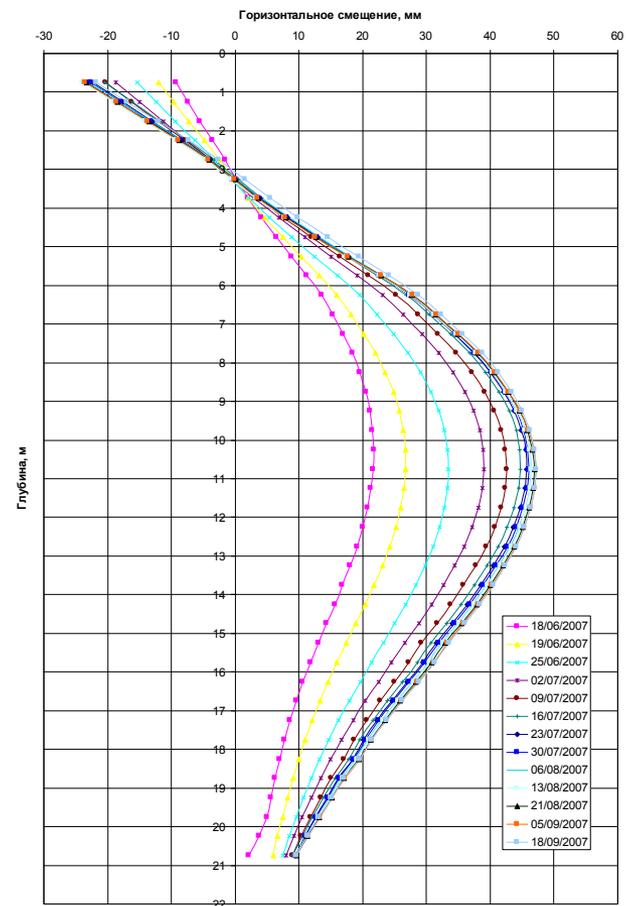
## 10м



## 5м



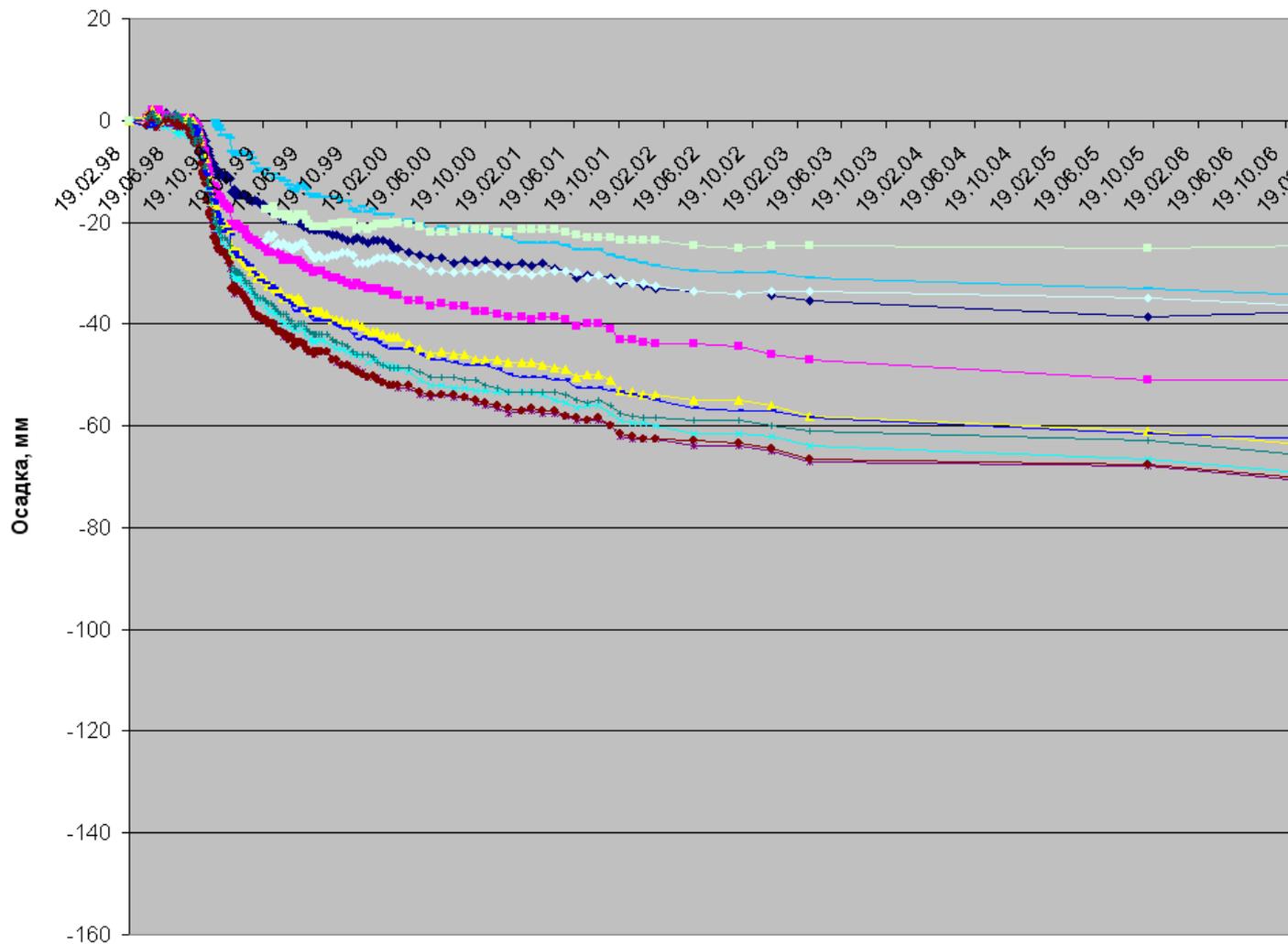
## 1м



# Дом Перцова (Лиговский 44). Влияние 1-го периода строительных работ

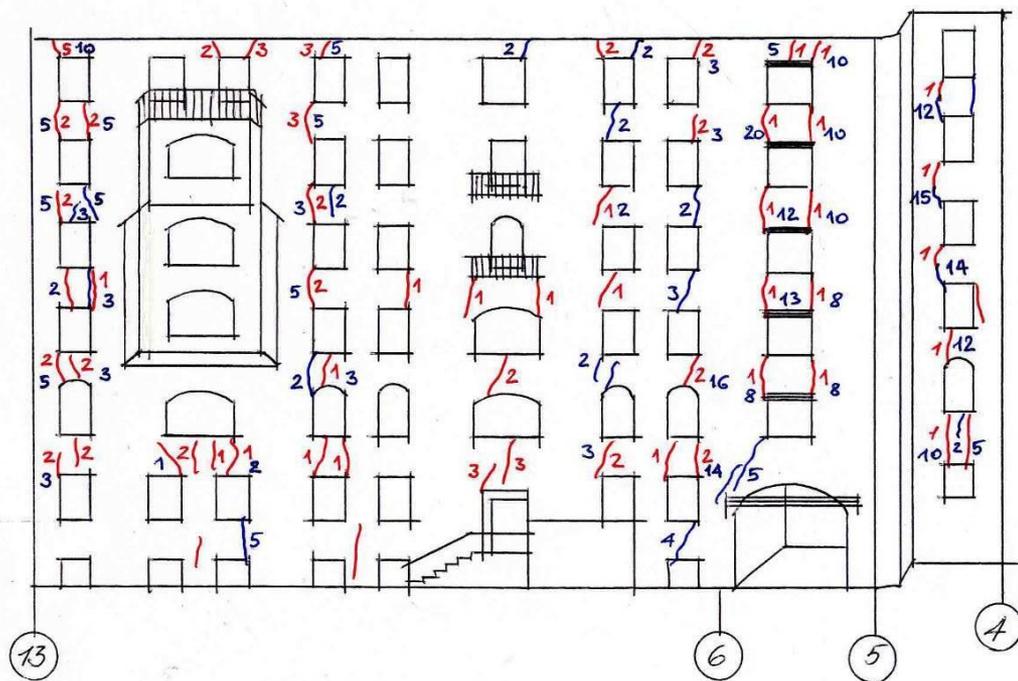


График вертикальных перемещений осадочных марок расположенных на м  
№44 по Лиговскому пр.

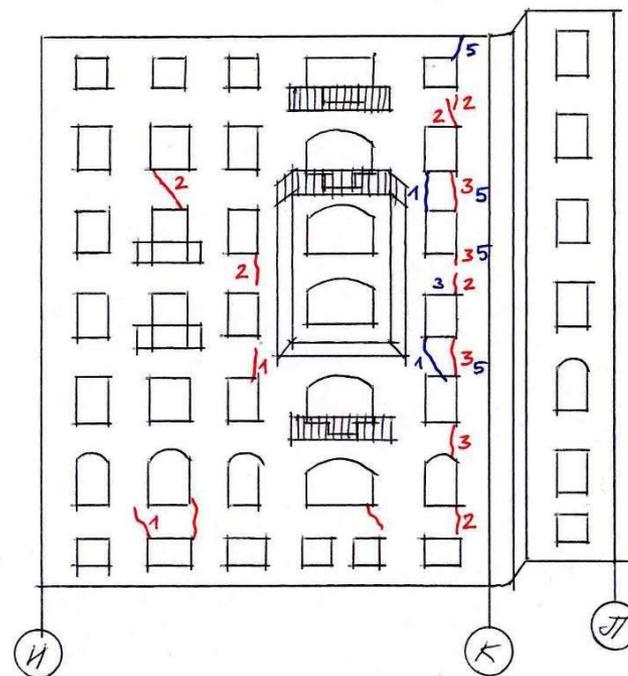




# Трещины в стенах здания (Лиговский 44). Синий цвет – от первого этапа строительства, красный – от второго

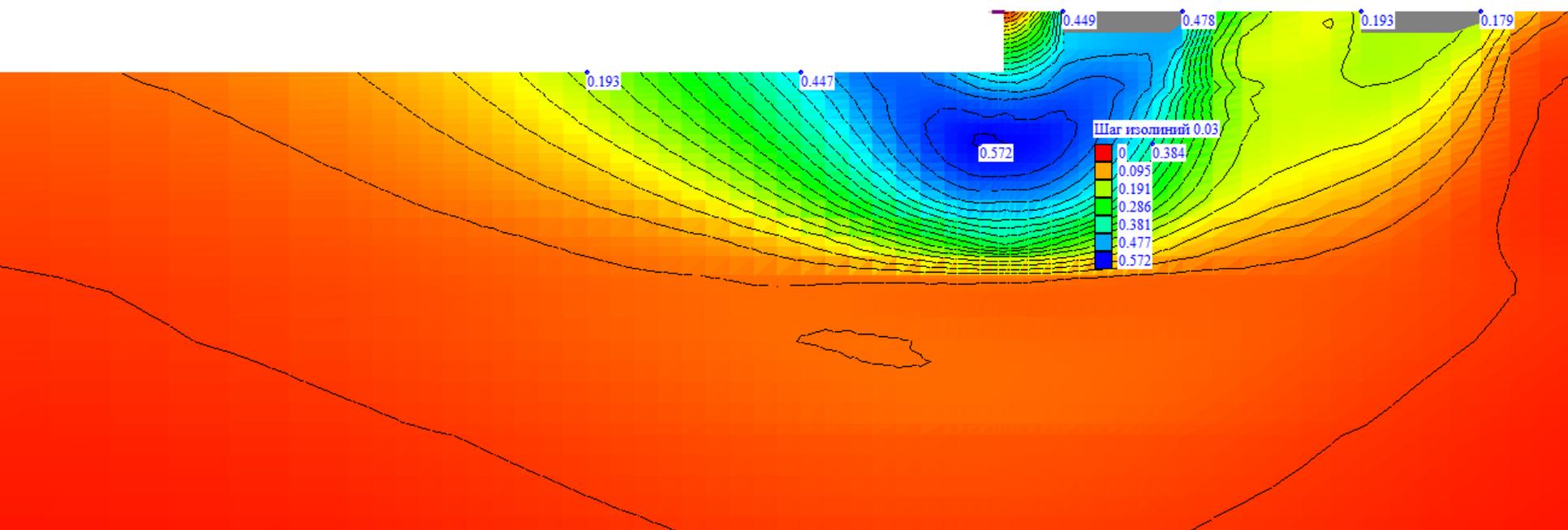


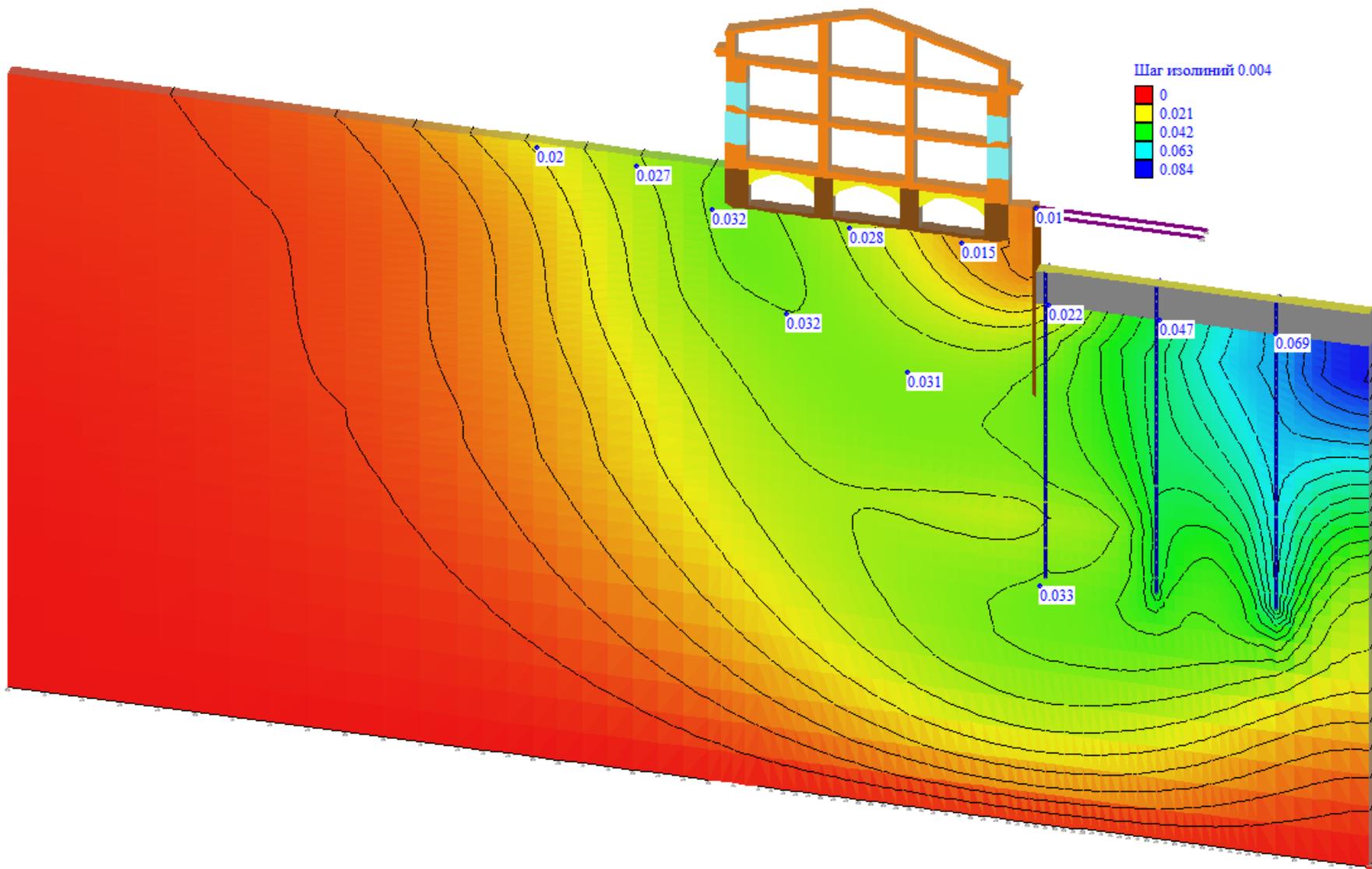
Дворовый фасад по оси И



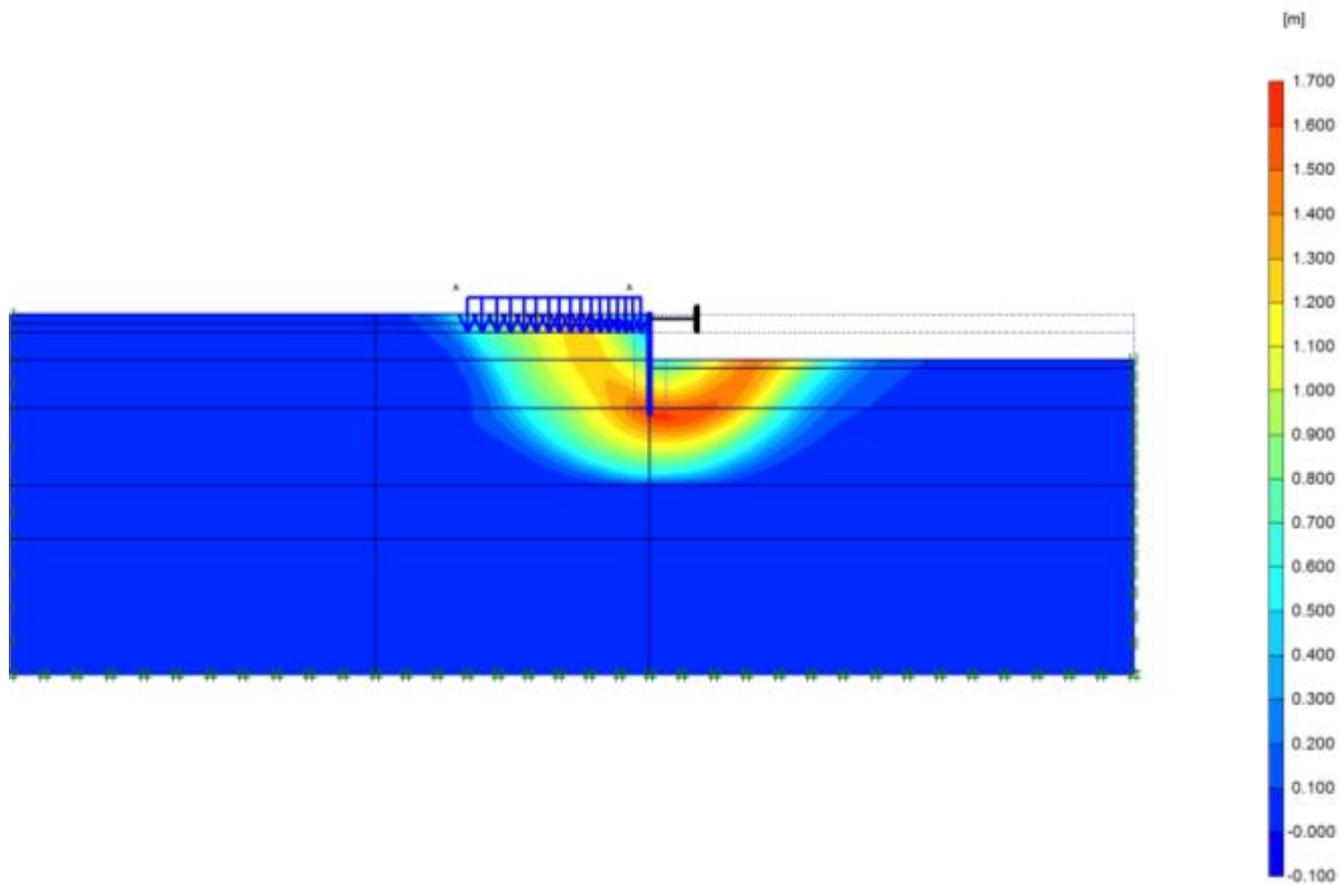
Дворовый фасад по оси 4

# Эффект выстраивания векторов главных перемещений по круглоцилиндрическим поверхностям в котлованах больших размеров





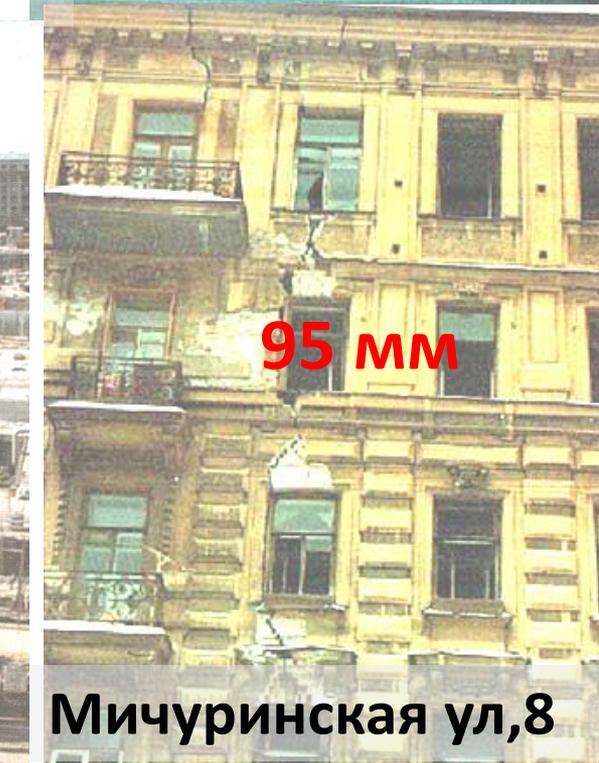
# Ограждение котлована смещается вместе с массивом грунта



# «Стокман» - устройство подземного объема



# «Стокман» - устройство подземного объема



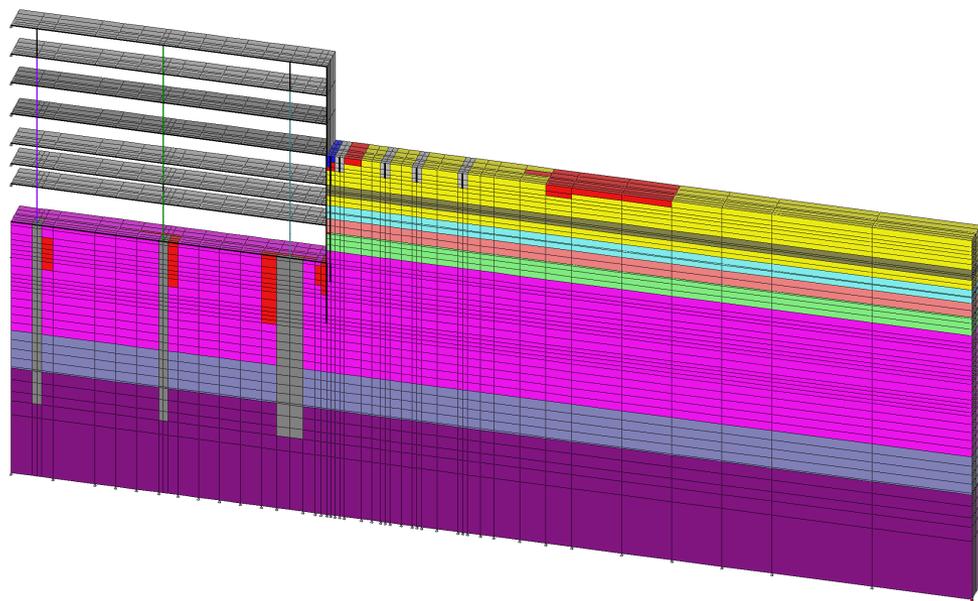
# Подземное сооружение универсама «Стокманн»



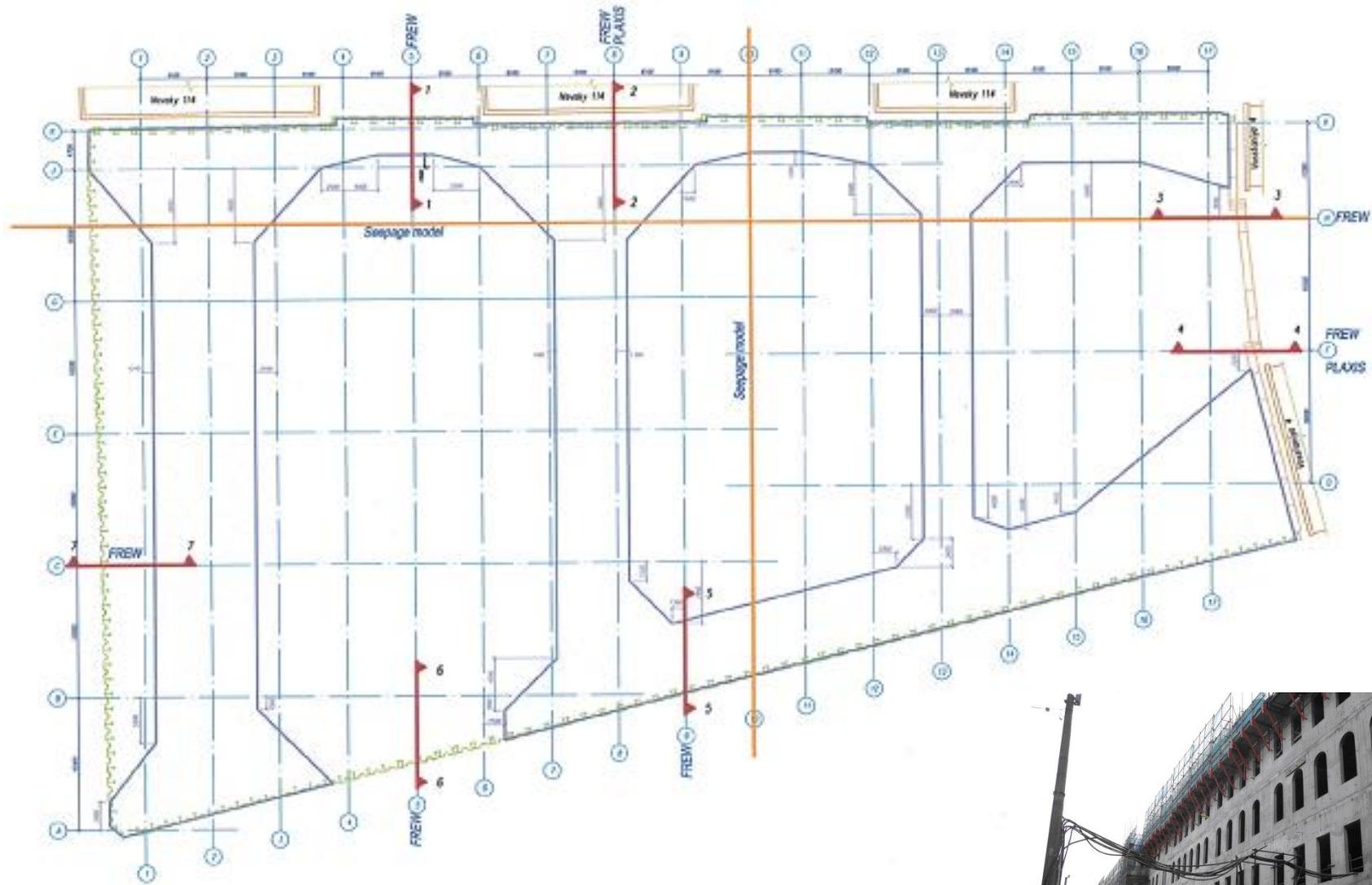


## Недостатки проекта:

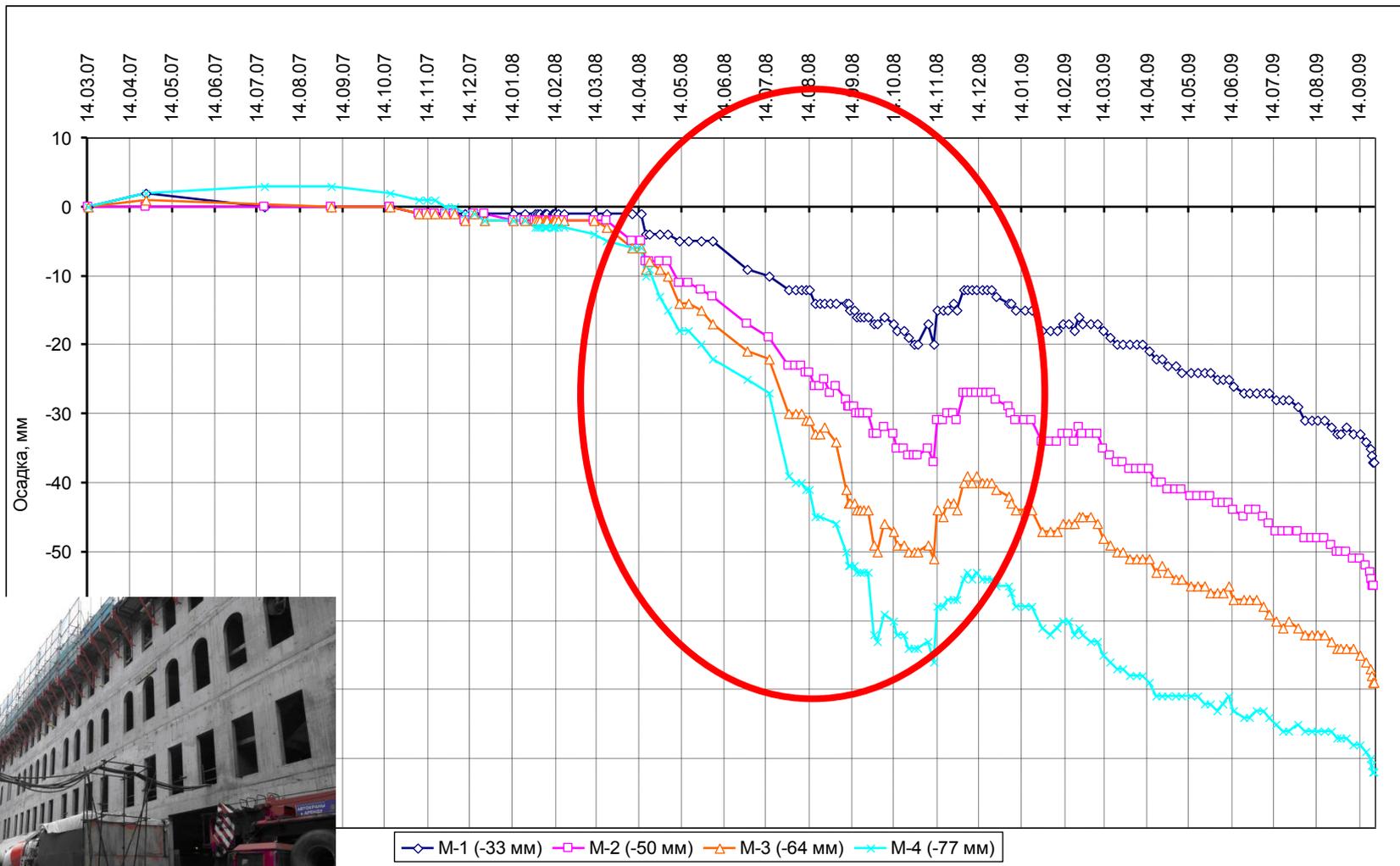
1. Опасность развития технологических осадок при вибропогружении шпунта
2. Недостаточная жесткость и длина ограждения
3. Неэффективное усиление фундаментов (наклонные сваи с центральным армированием)
4. Неэффективное использование метода струйной цементации



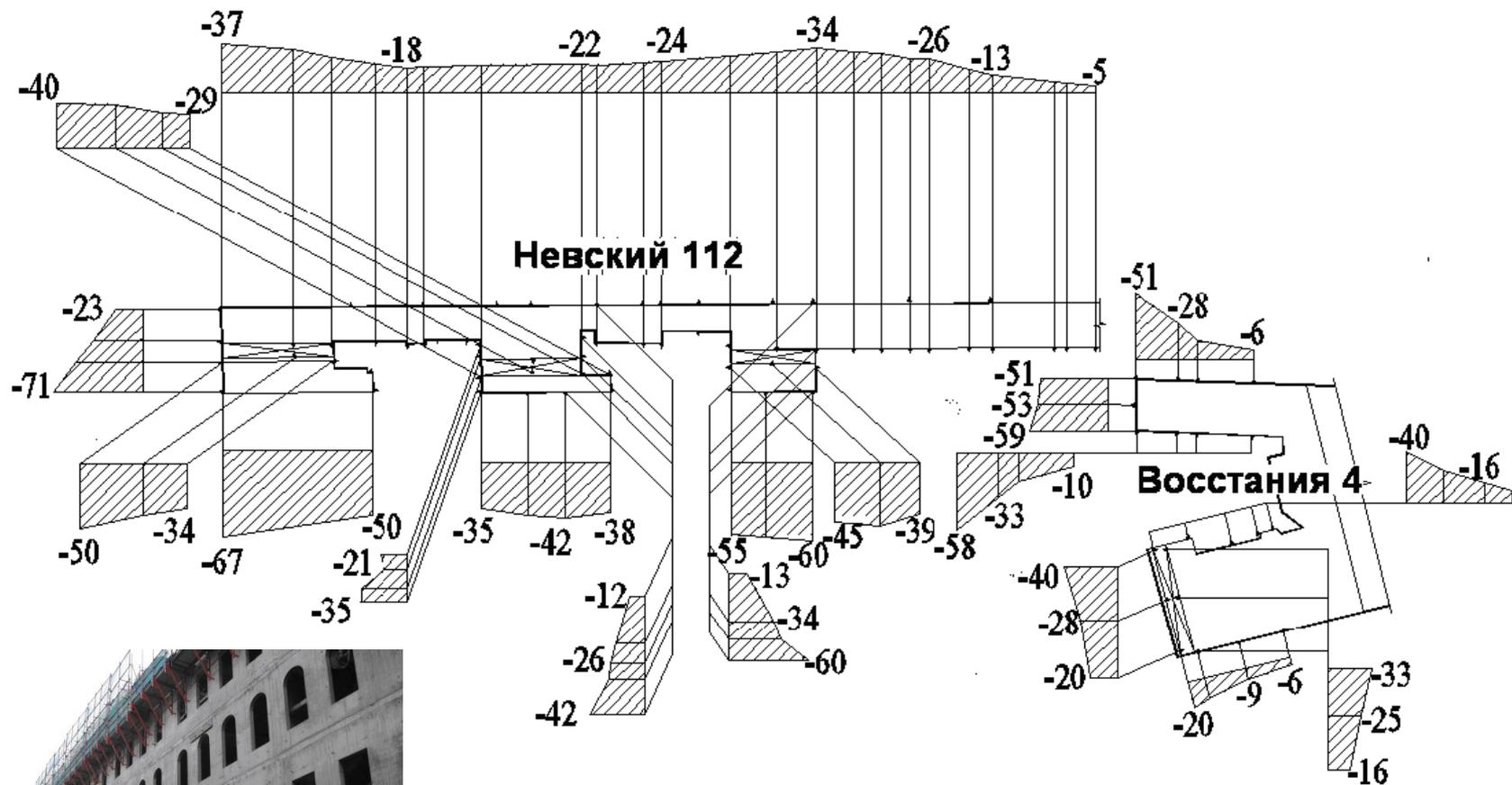
# Неэффективное использование метода струйной цементации



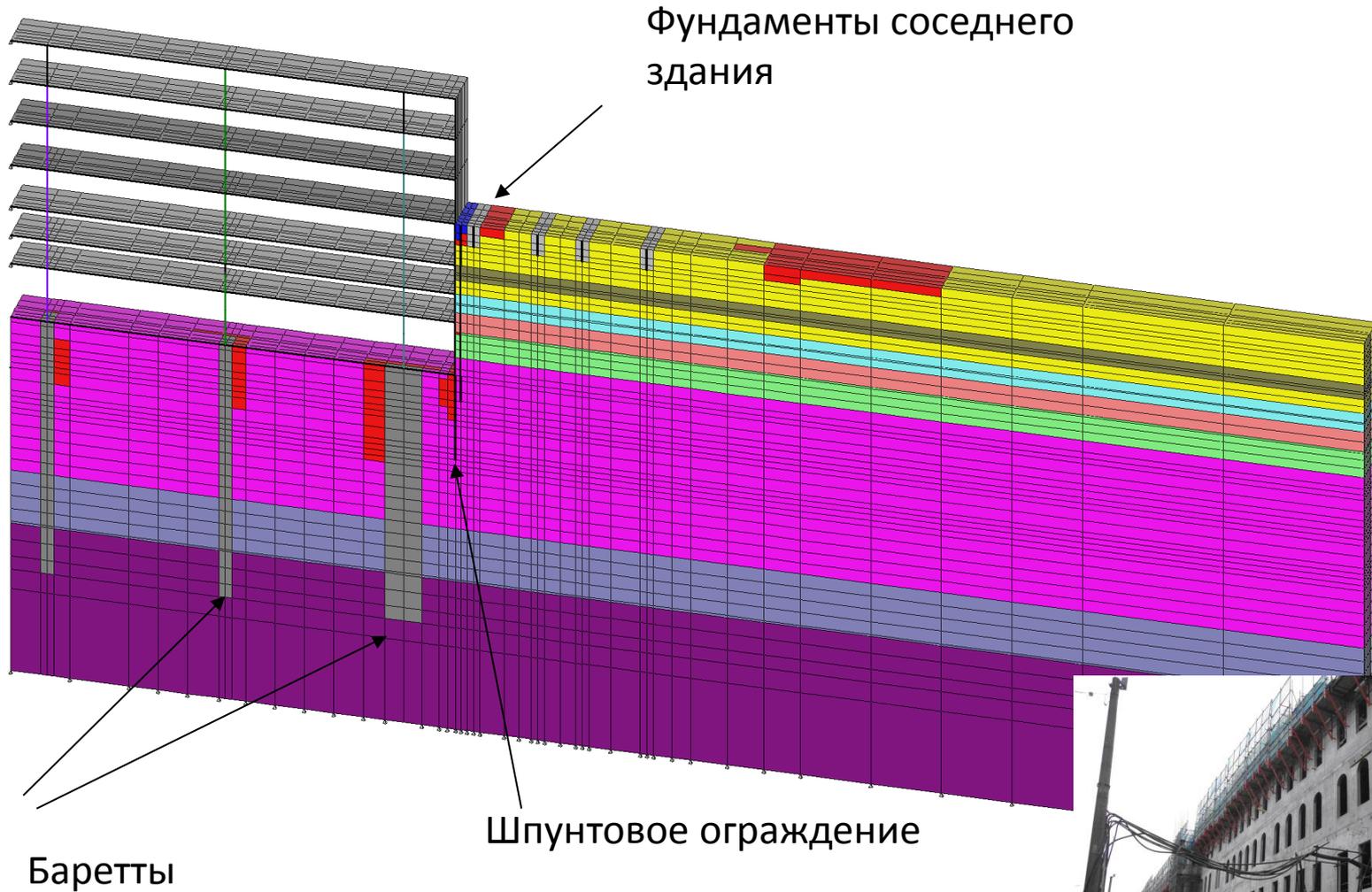
# Невский 112: Осадки от погружения шпунта тяжелого профиля и других технологических воздействий



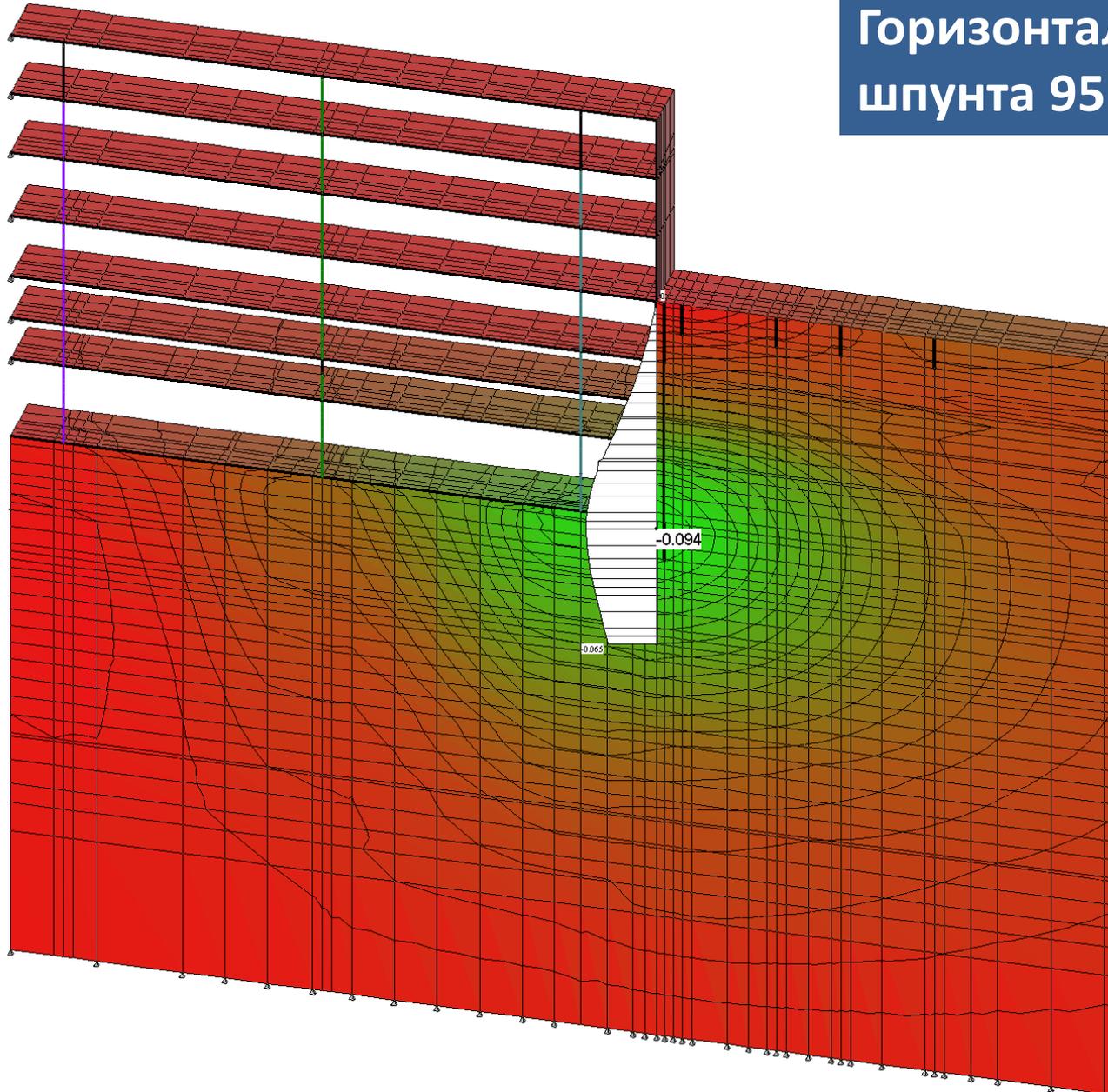
# Осадки от технологических воздействий до откопки котлована



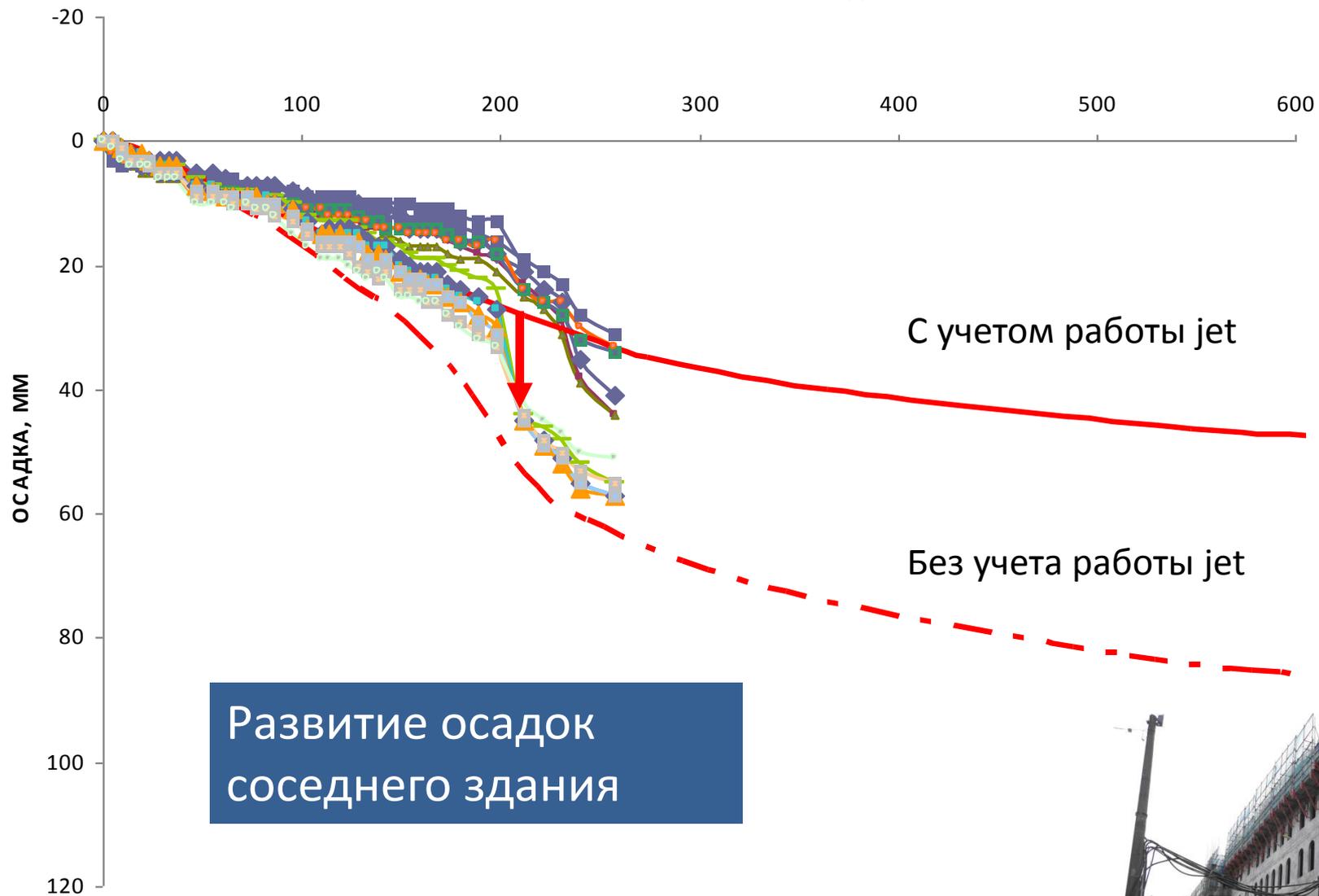
# Расчетная схема задачи



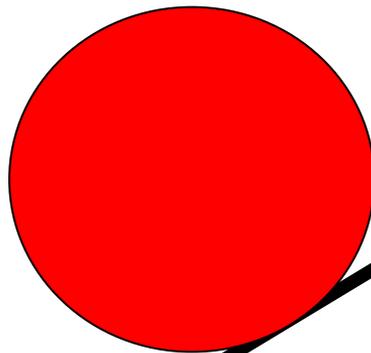
# Горизонтальное смещение шпунта 95 мм



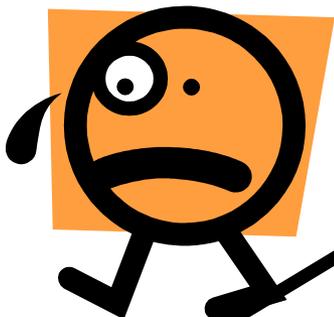
ВРЕМЯ С НАЧАЛА ОТКОПКИ, ДНИ



Осадки

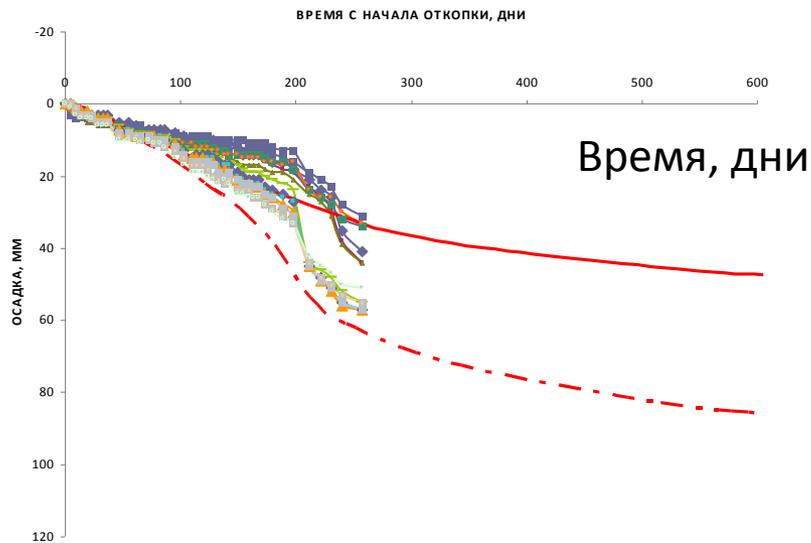


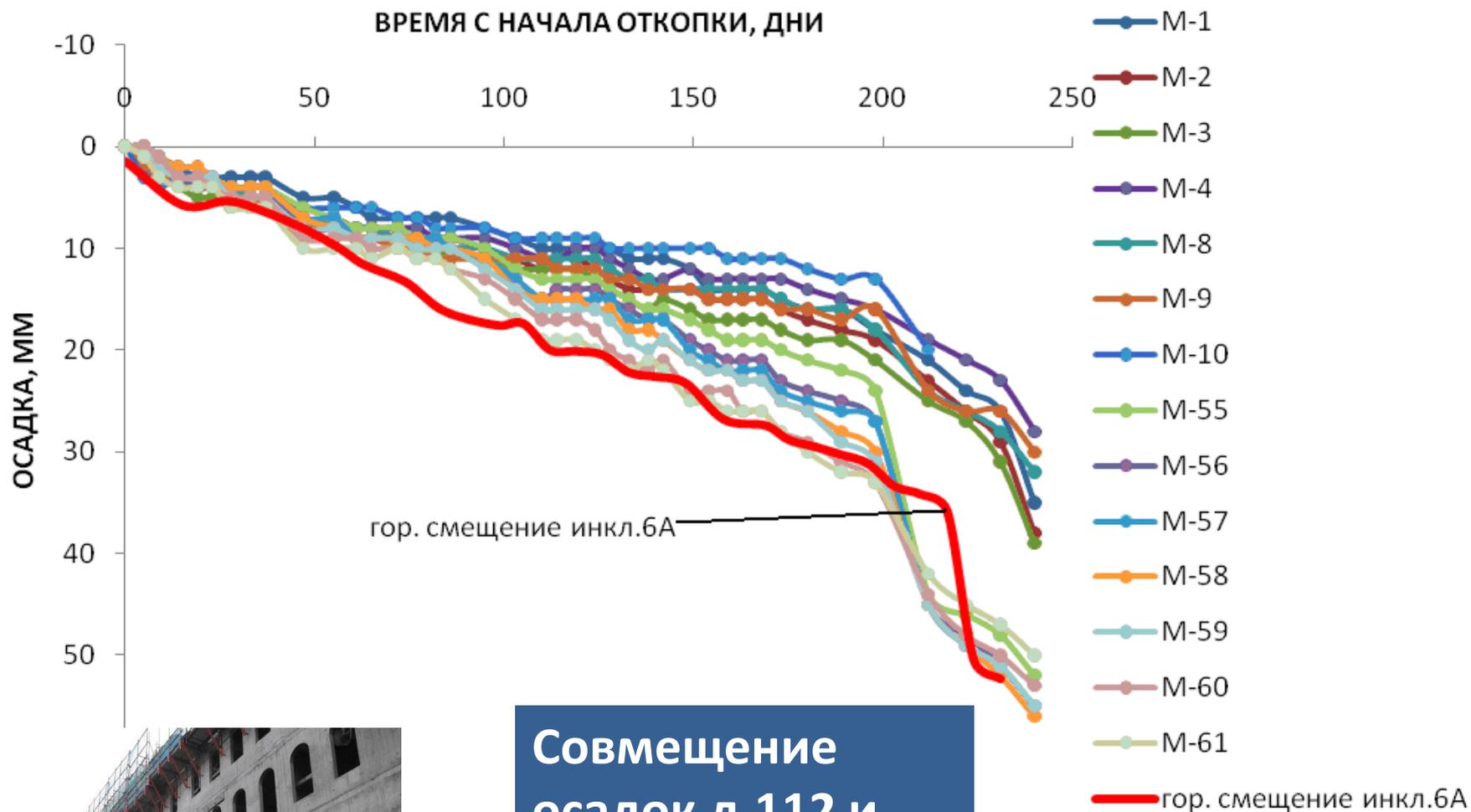
Строительные  
работы



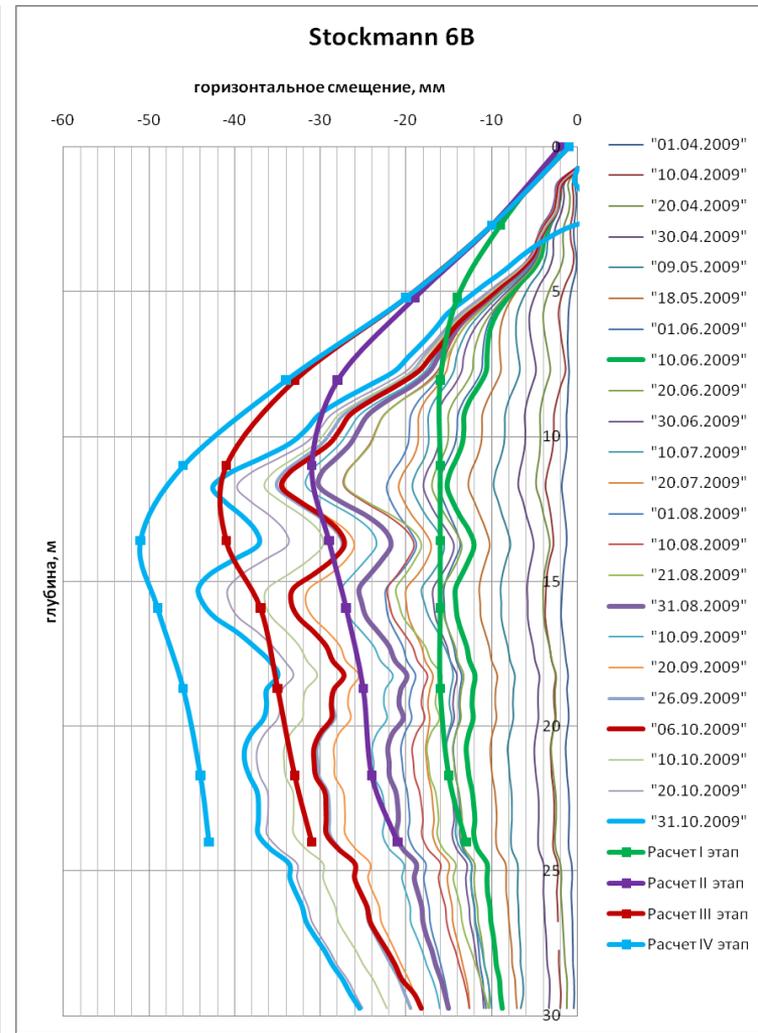
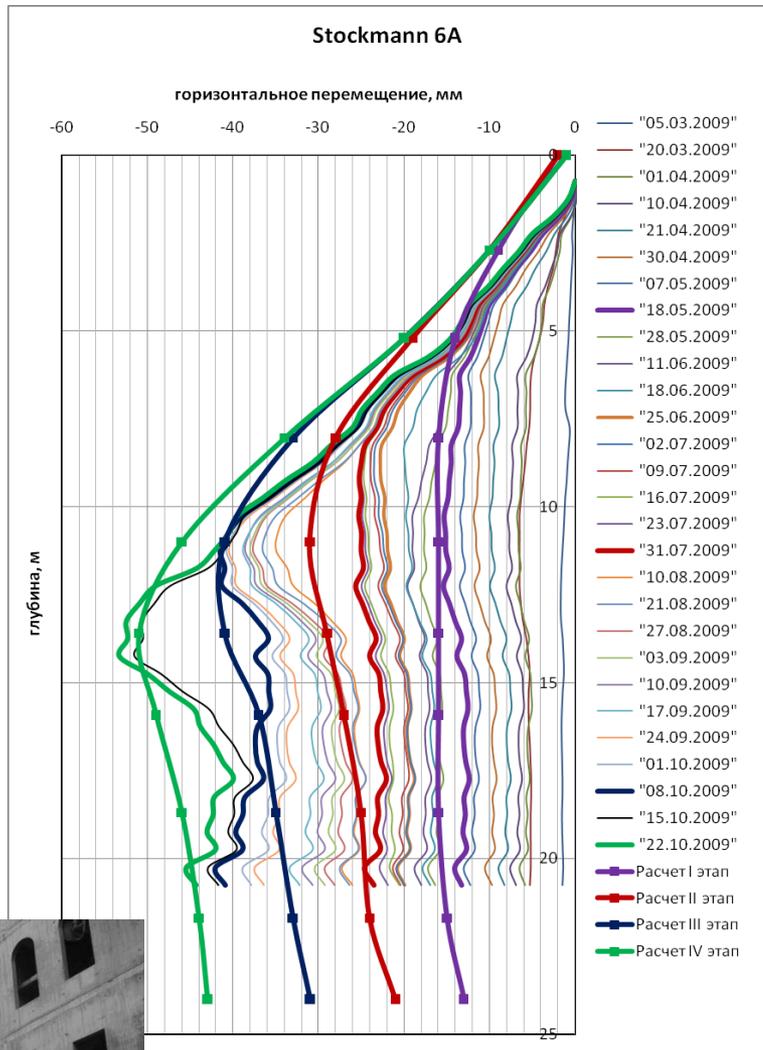
Расчетное и наблюдаемое  
развитие осадок от откопки  
котлована

Осадки, мм





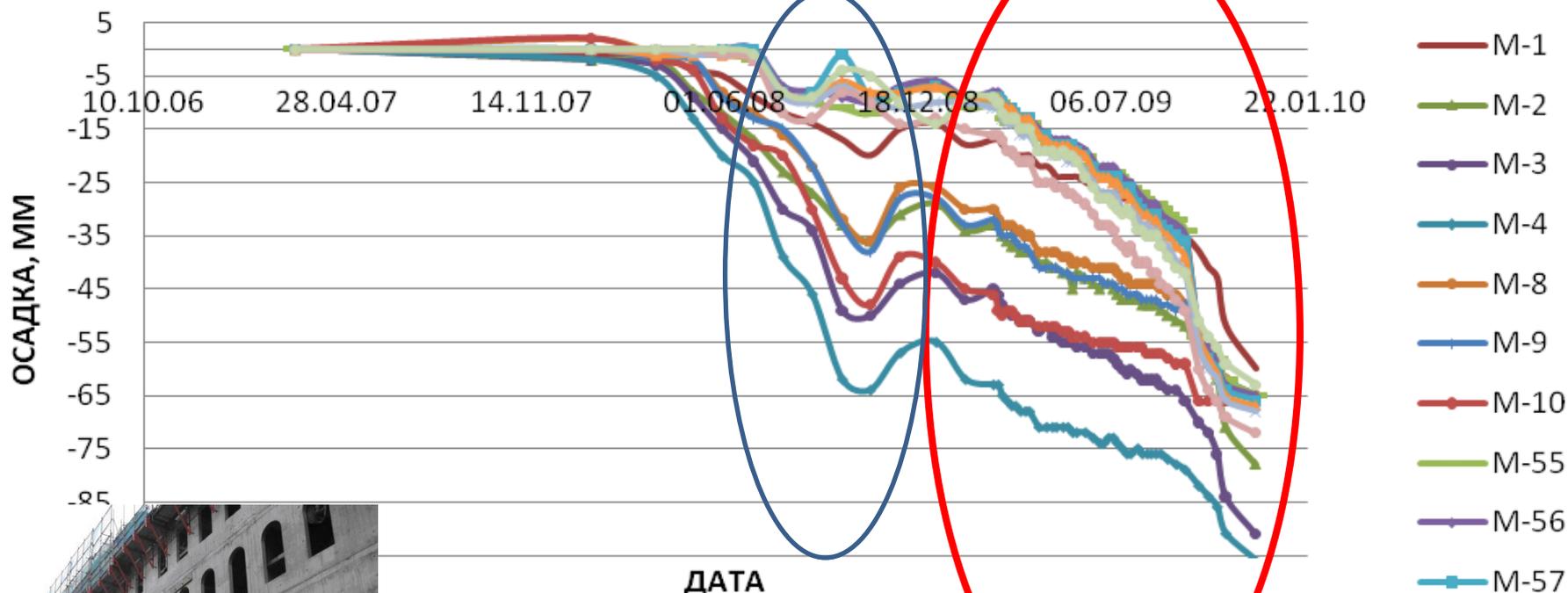
**Совмещение осадок д.112 и горизонтальных смещений по инклинометру**



Измеренные и расчетные  
горизонтальные смещения

# Развитие дополнительных осадок, связанных с откопкой котлована

## ОСАДКИ МАРОК ПО НЕВСКОМУ 114 С 14.03.2007

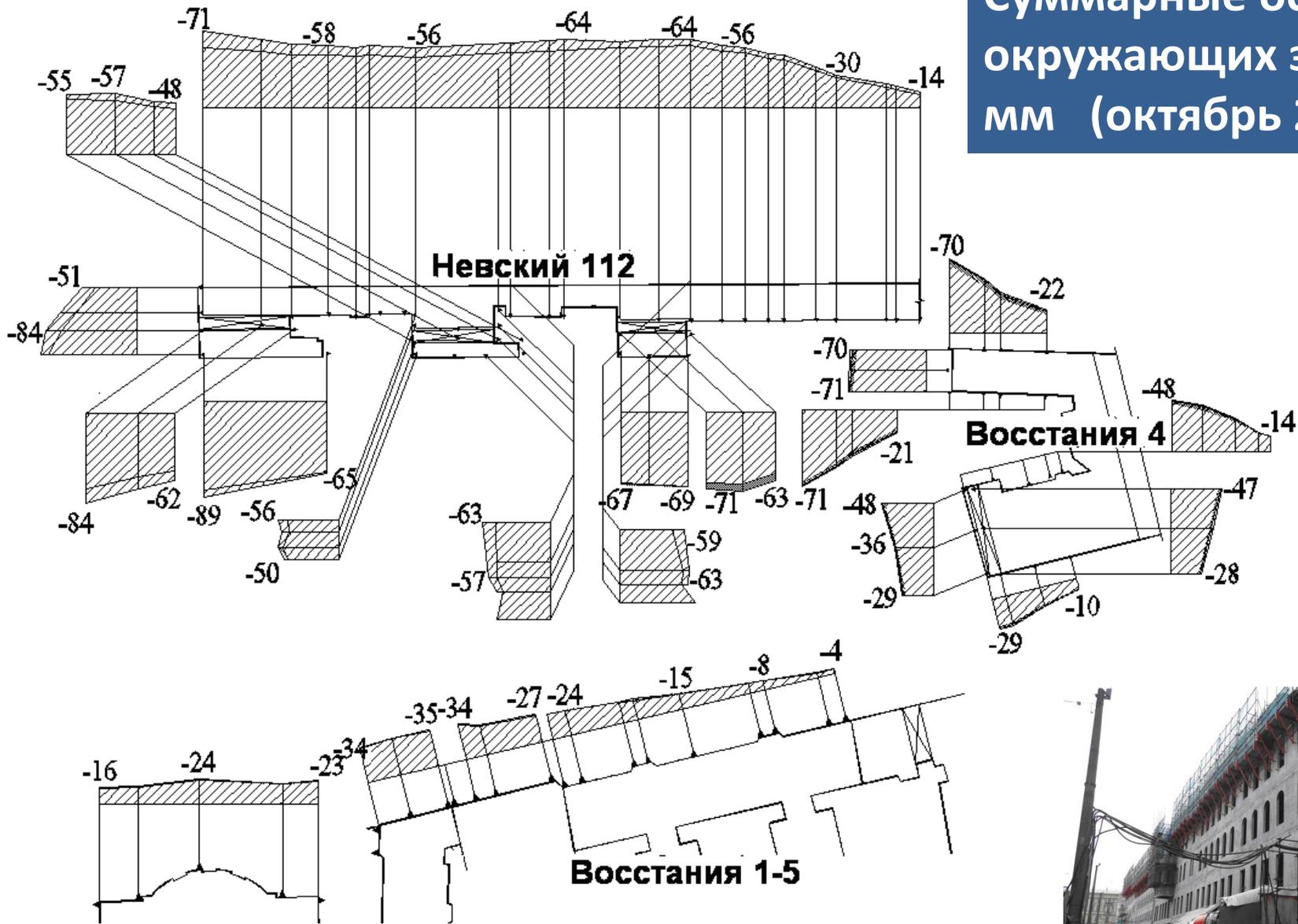


ДАТА  
Устройство свай и  
шпунта

Откопка котлована

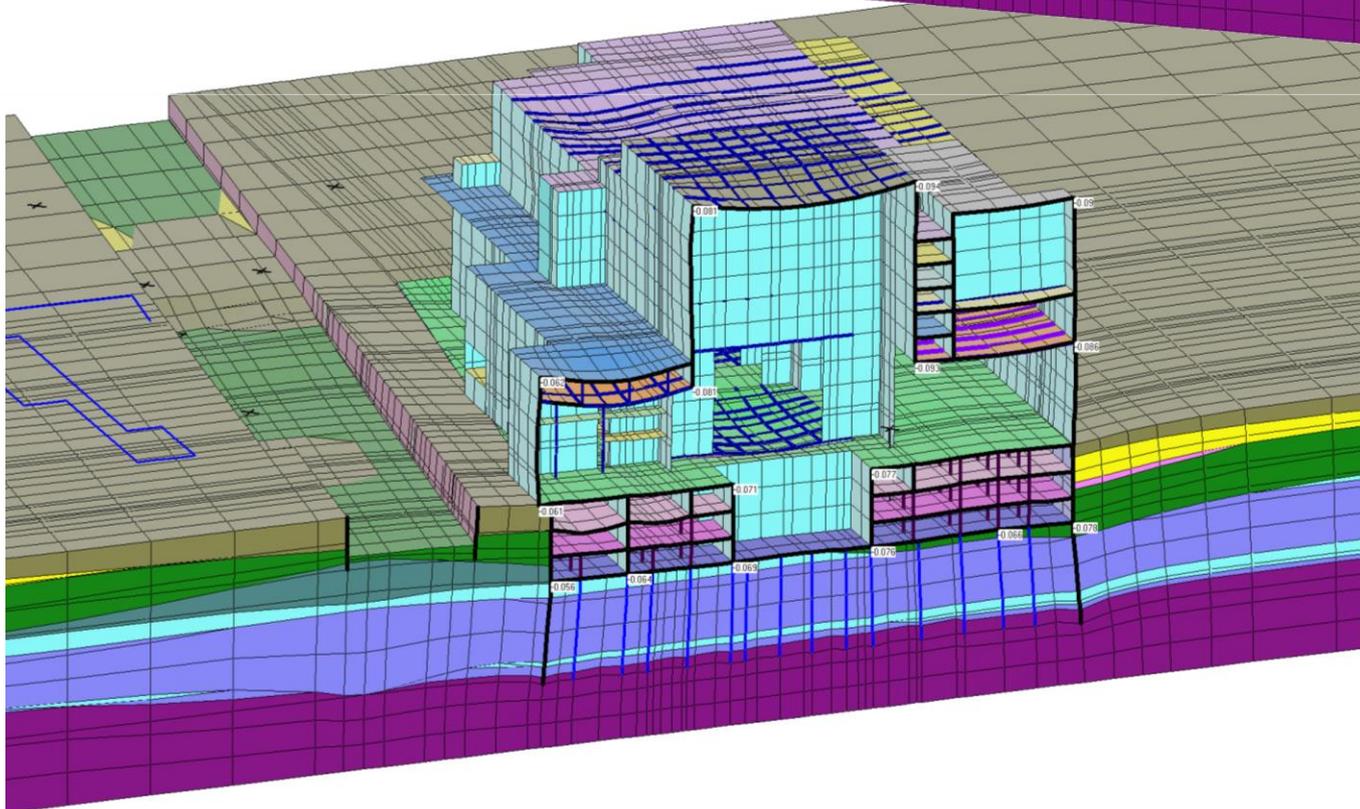
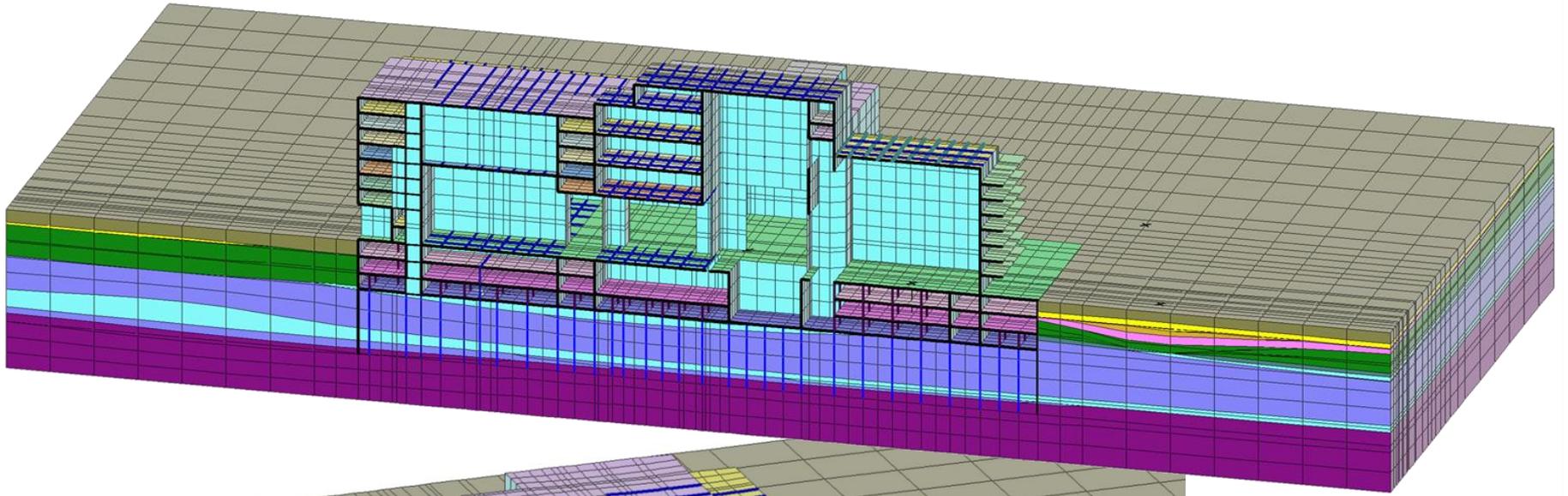


Суммарные осадки  
окружающих зданий,  
мм (октябрь 2009 г.)

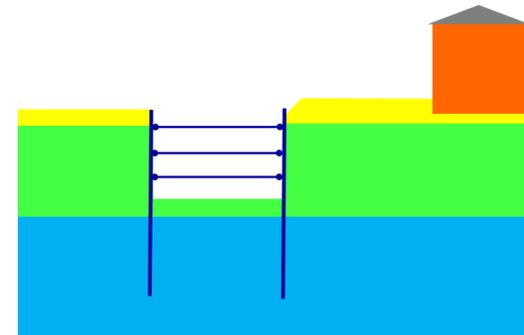
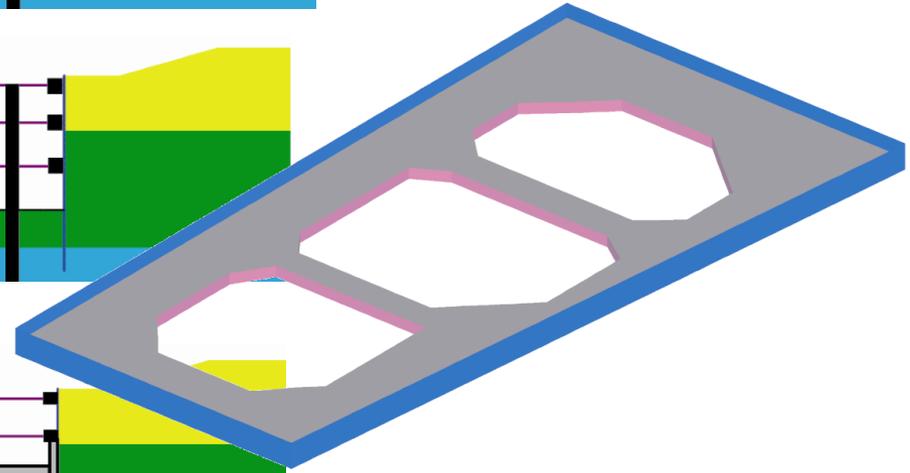
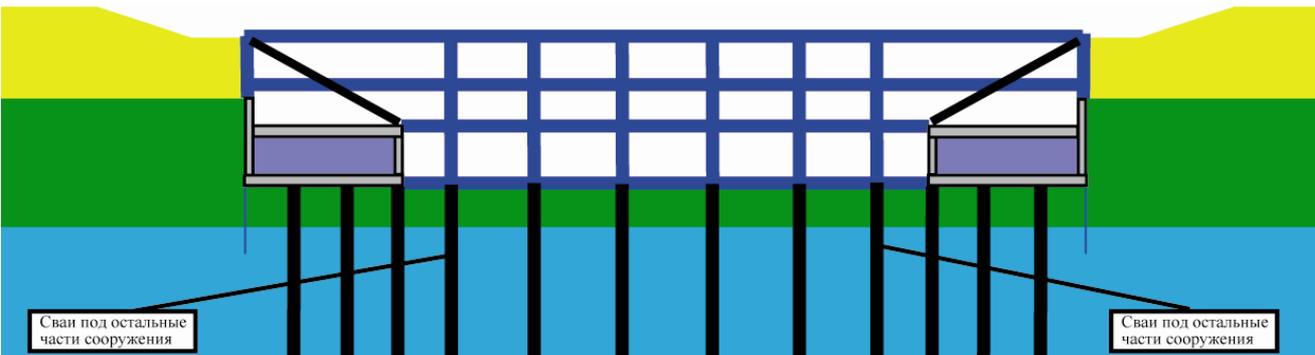
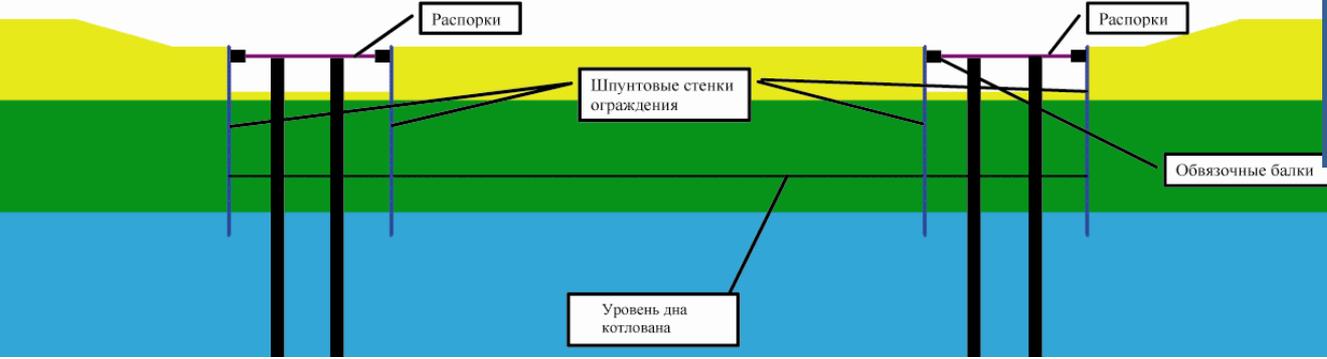


# Вторая сцена Мариинского театра





# Первоначальный проект





## Перебор грунта в % к объему сечения

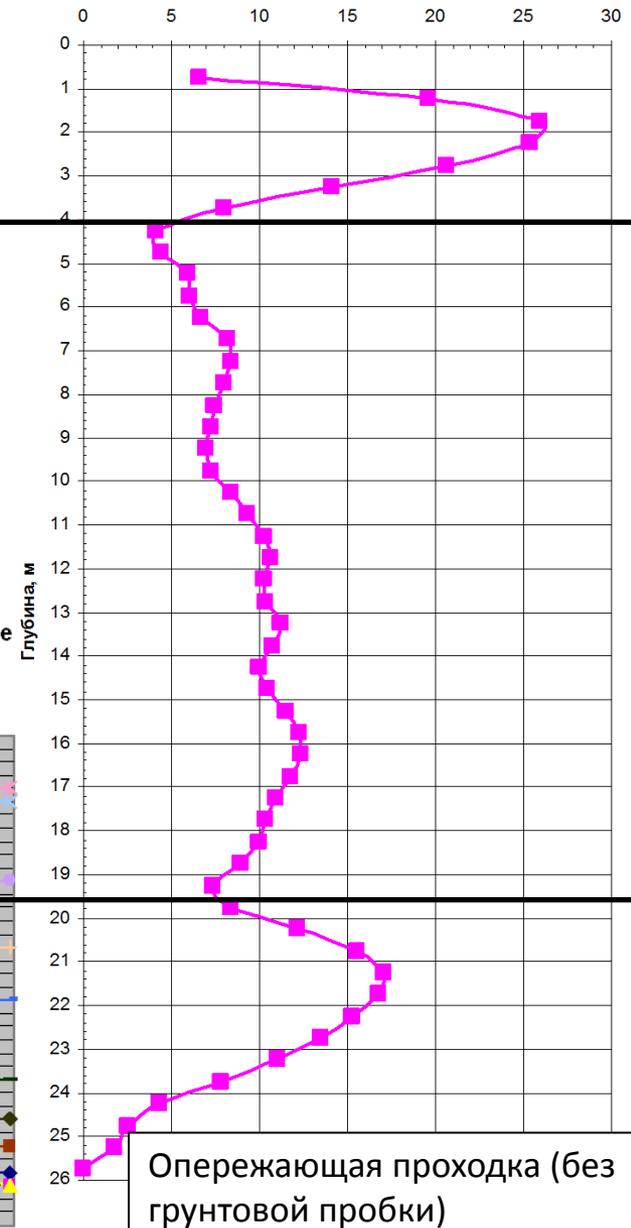
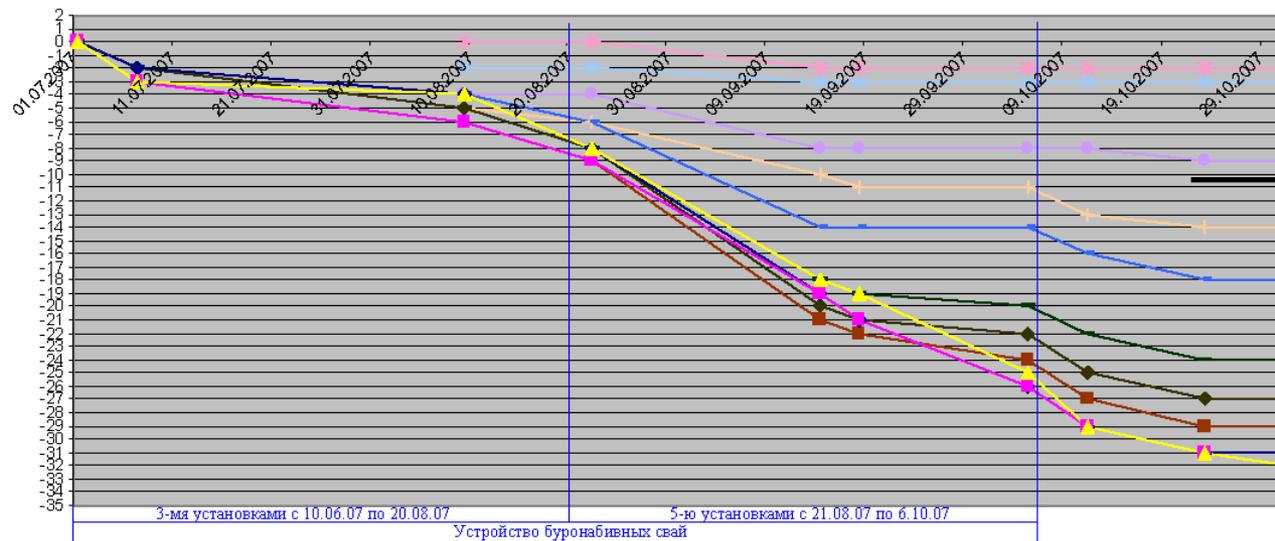
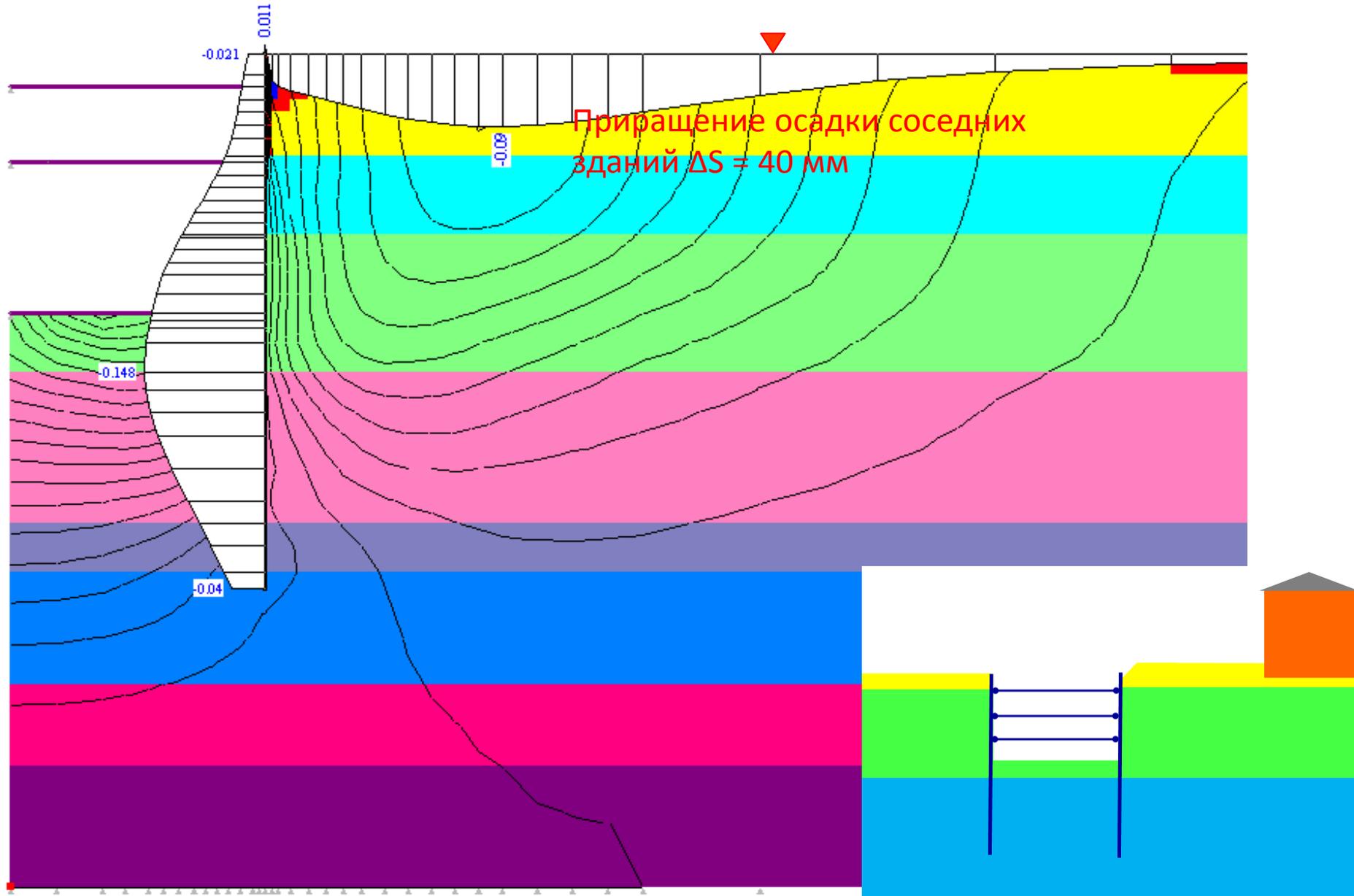


График вертикальных перемещений осадочных марок, расположенных на д. №3 на лицевом фасаде по Минскому пер. (по данным ЗАО "НПО Георекострукция-Фундаментпроект")

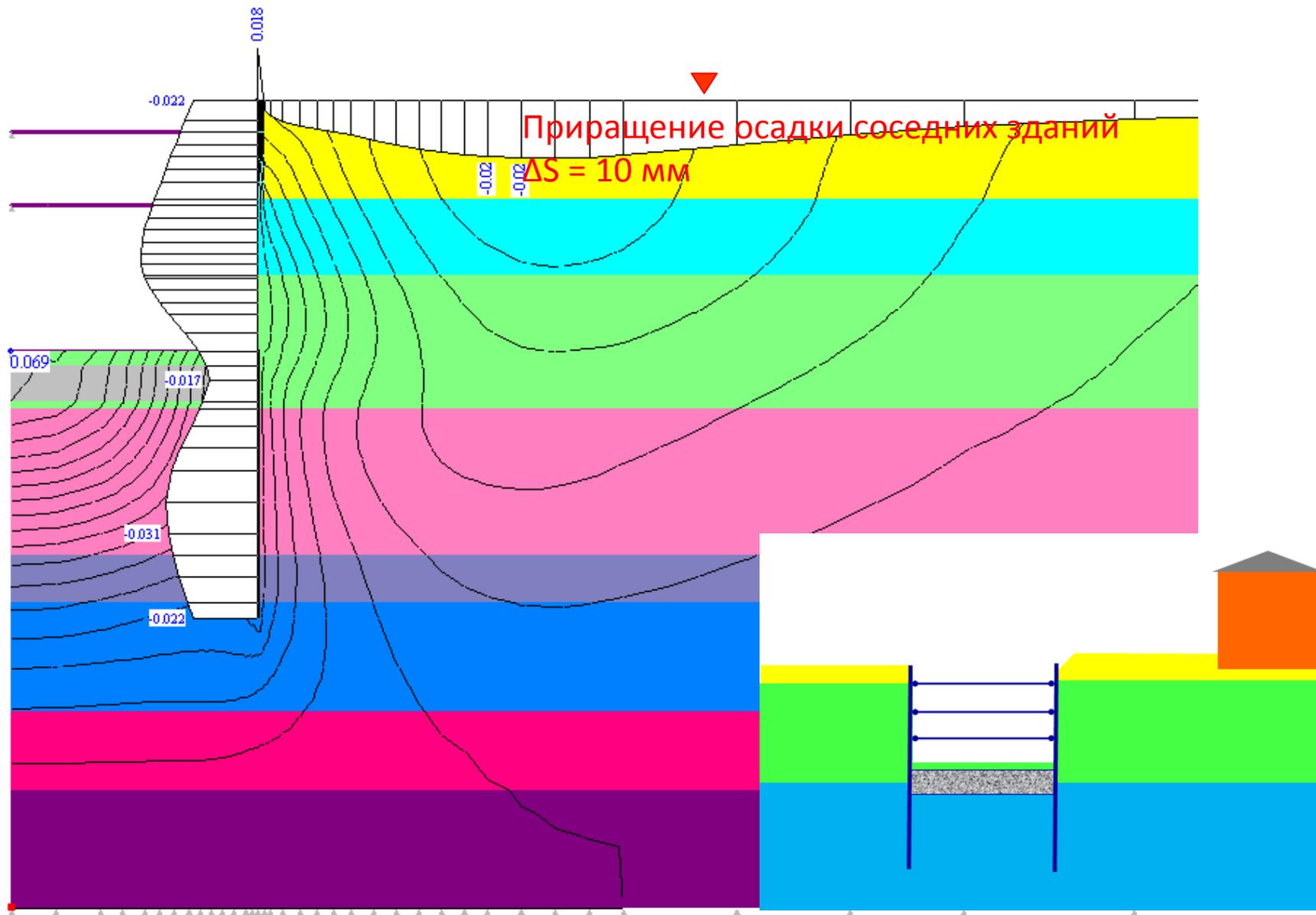


Опережающая проходка (без грунтовой пробки)

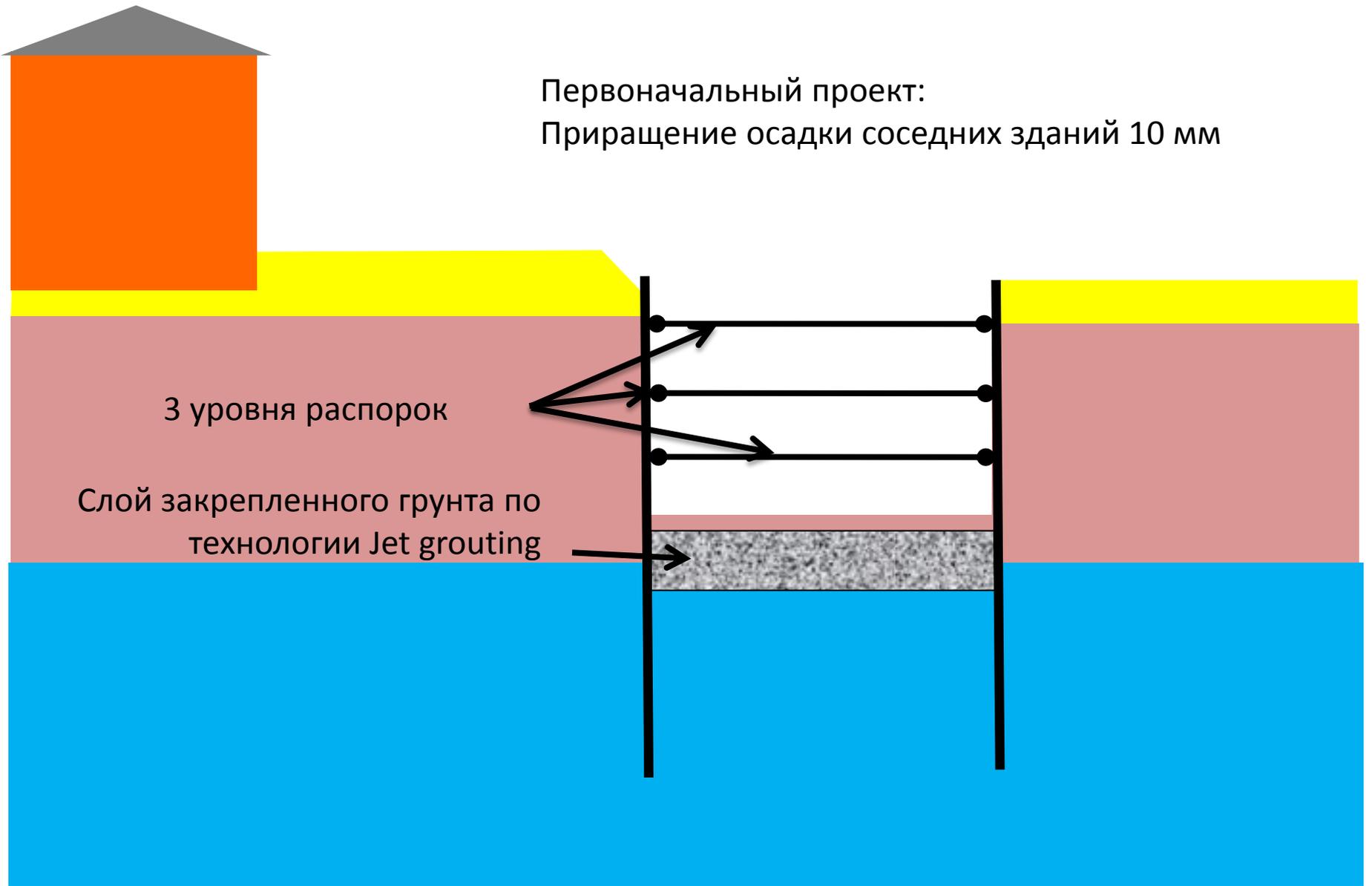
# Моделирование перемещения ограждения котлована с помощью вязкопластической модели



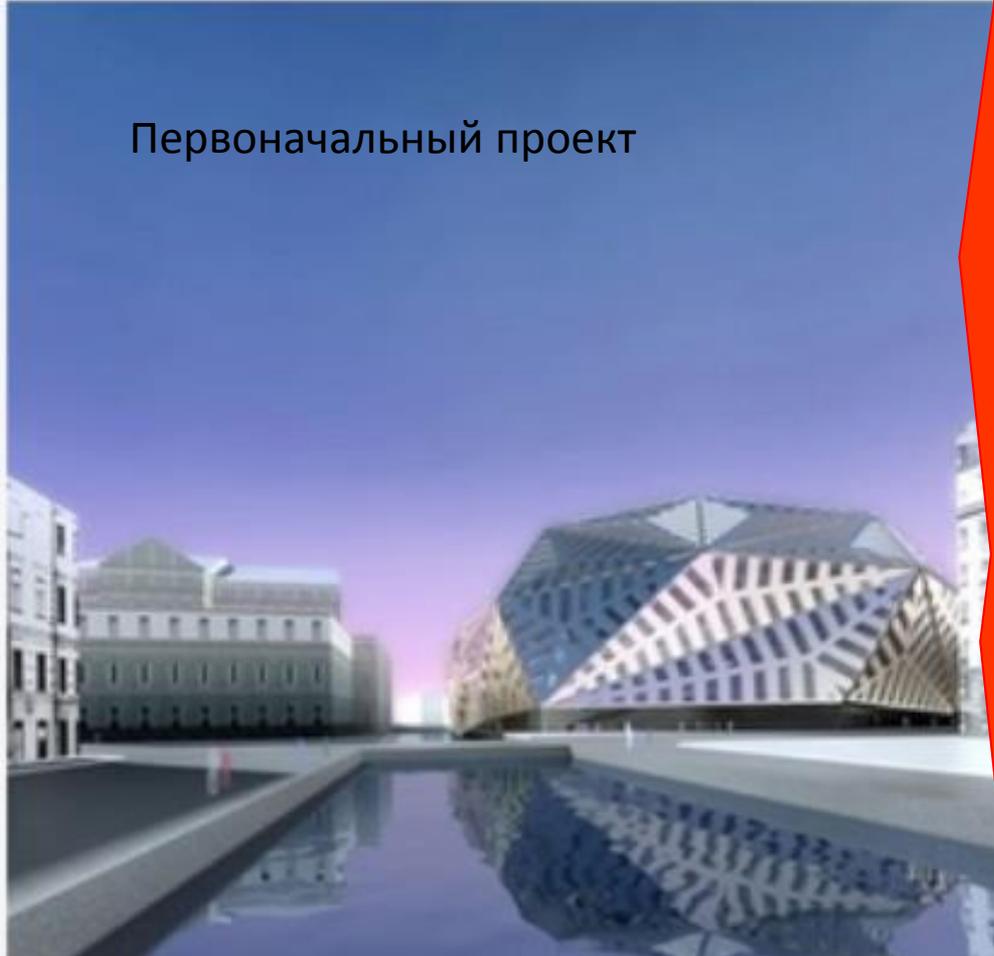
# Моделирование перемещения ограждения котлована с помощью вязкопластической модели с учетом закрепления грунта



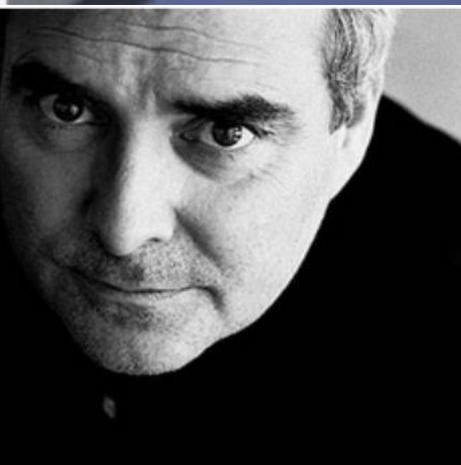
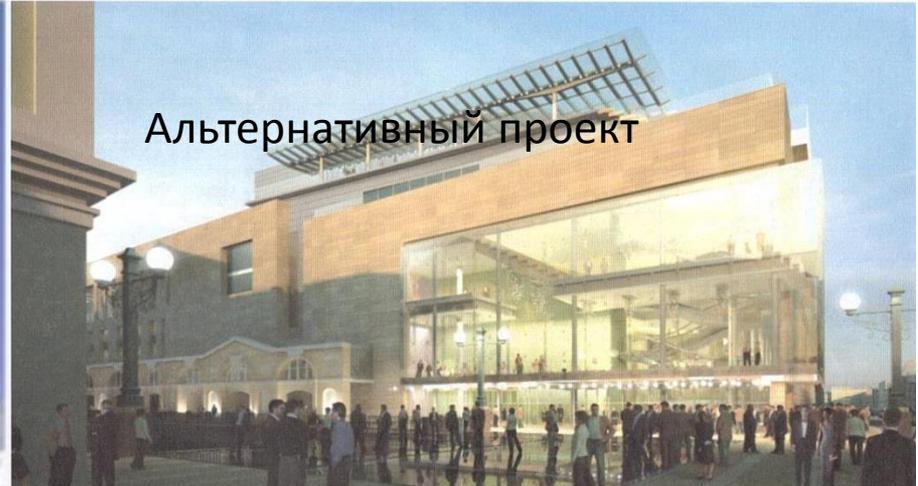
Первоначальный проект:  
Приращение осадки соседних зданий 10 мм

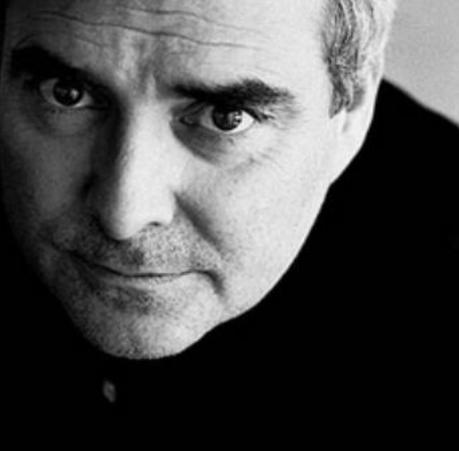


Первоначальный проект



Альтернативный проект





Первоначальный проект

Альтернативный проект

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ НОВОГО ЗДАНИЯ  
(ВТОРОЙ СЦЕНЫ)  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АКАДЕМИЧЕСКОГО  
МАРИИНСКОГО ТЕАТРА**



Санкт-Петербург  
2011

Альтернативный проект

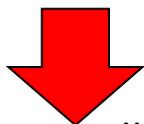
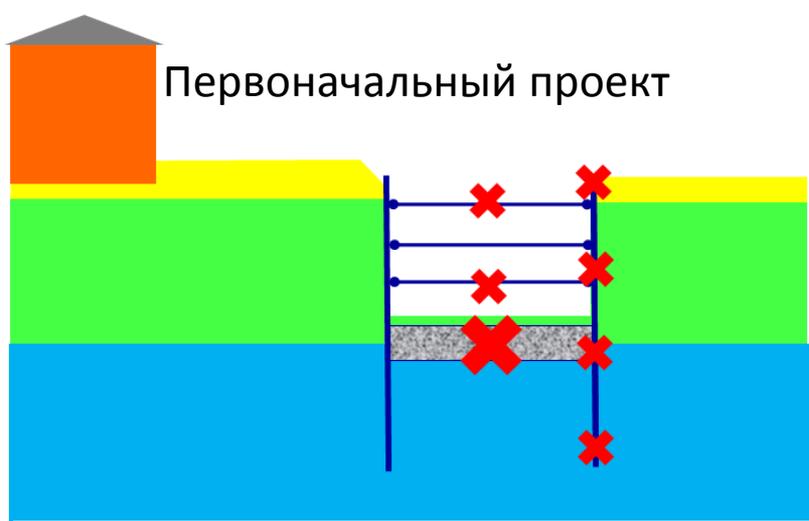
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ НОВОГО ЗДАНИЯ  
(ВТОРОЙ СЦЕНЫ)  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АКАДЕМИЧЕСКОГО  
МАРИИНСКОГО ТЕАТРА**

Сборник научно-технических статей

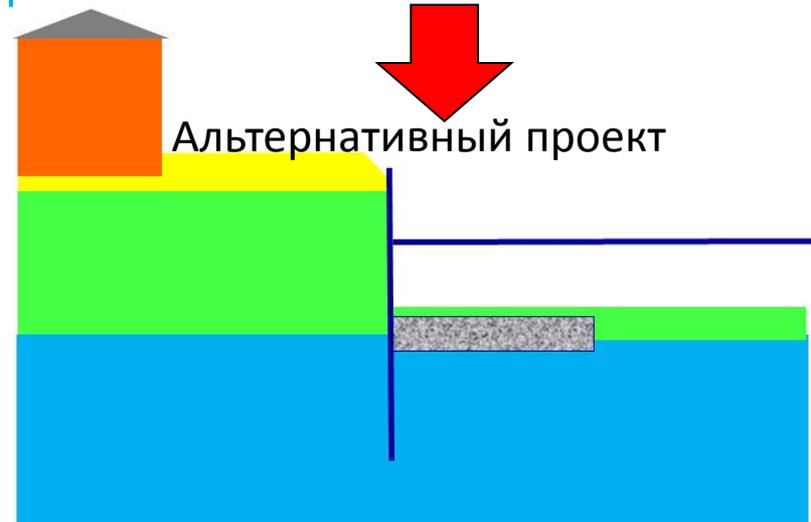
Под общей редакцией  
академика РААСН, д-ра техн. наук, профессора В. А. Ильичёва,  
д-ра техн. наук, профессора А. П. Ледяева,  
д-ра техн. наук, профессора Р. А. Мангушева

Санкт-Петербург  
2011

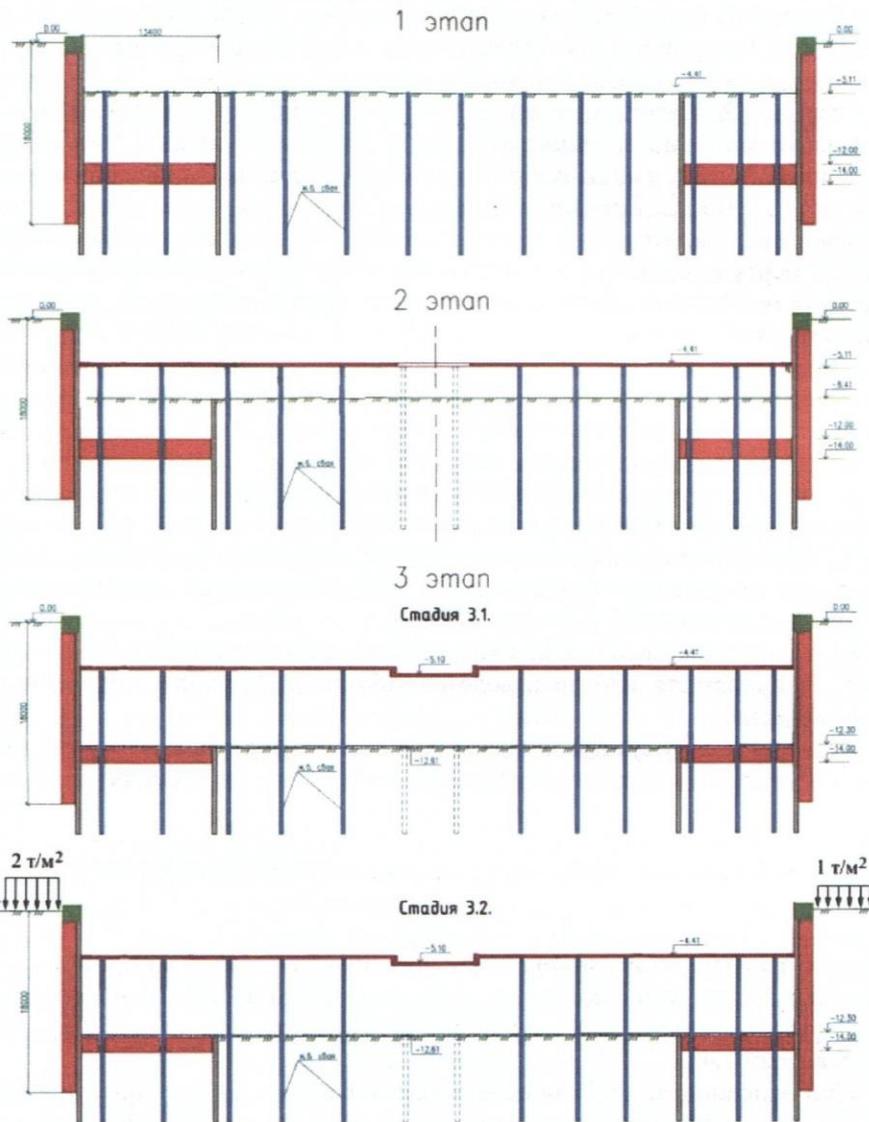
### Первоначальный проект



### Альтернативный проект



В «альтернативном» проекте предусматривался единственный полноценный диск перекрытия на отм. -4,0 вместо 4-х распорных уровней в исходном проекте.



Альтернативный проект:  
Применение элементов

- Условные обозначения
- бременное тело
  - постоянное сооружение
  - цементация грунтов
  - грунт

Рис. 1. Стадии разработки проекта, принимаемые в расчетах

Технология top-down

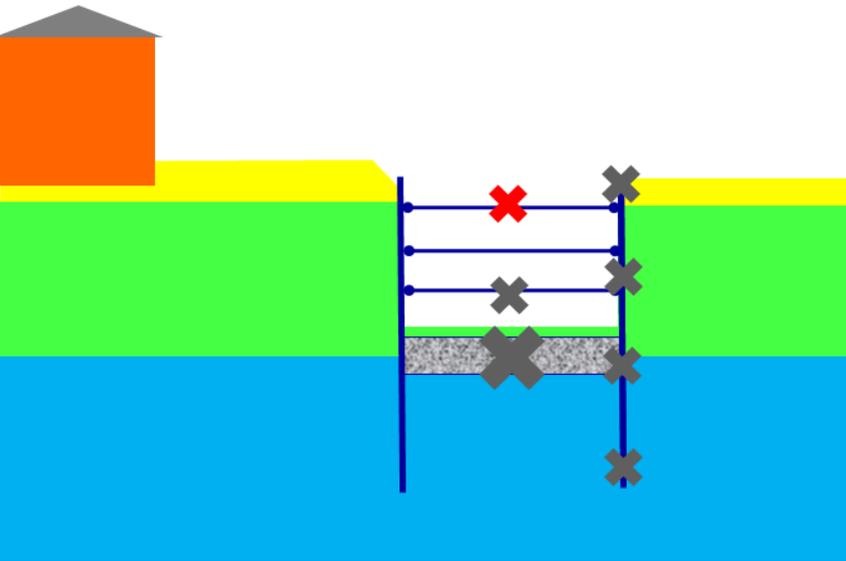


Причины смятия распорки:

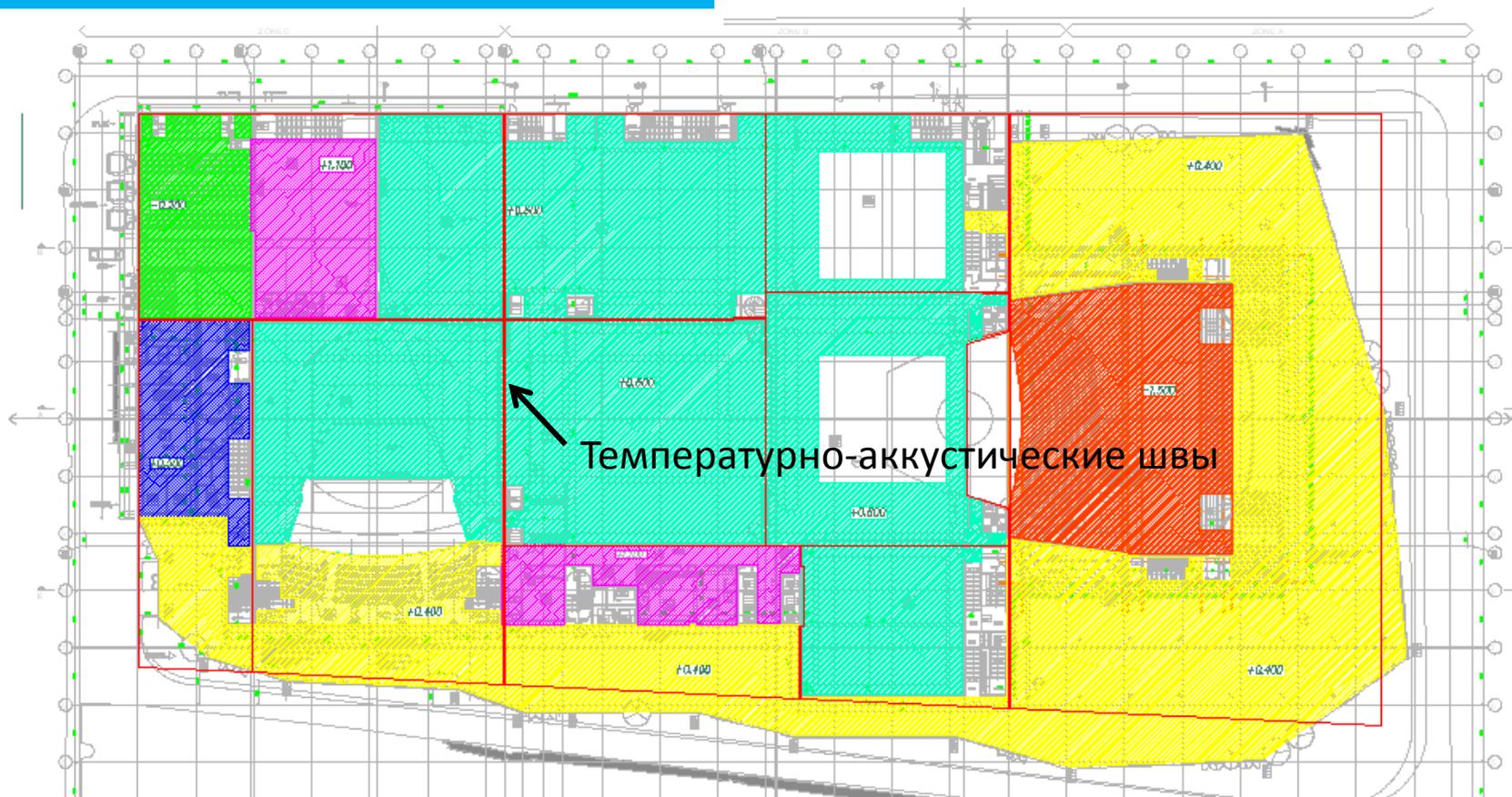
1. Бетонирование днища было задержано на 8 месяцев
2. Усилие в распорке превысило расчетное (500 т) из-за вытеснения грунта при устройстве доп. свай по технологии DDS для поддержки перекрытия по технологии top-down

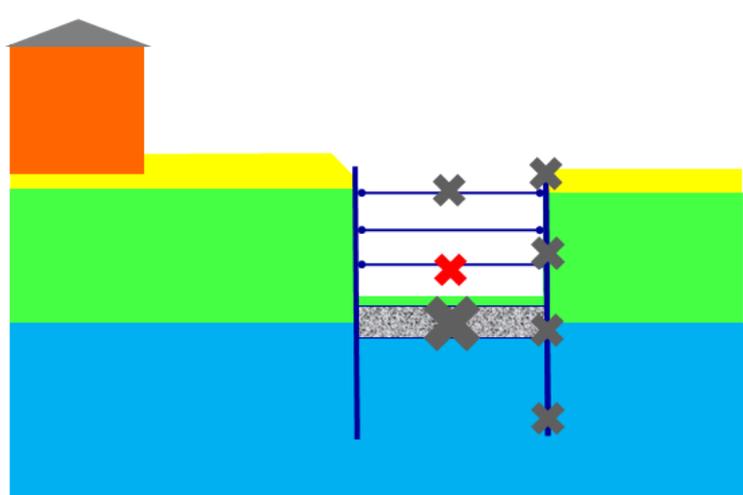
Рис. 11. Пример смятия нижнего узла крепления распорки шпунтового ограждения опытного котлована



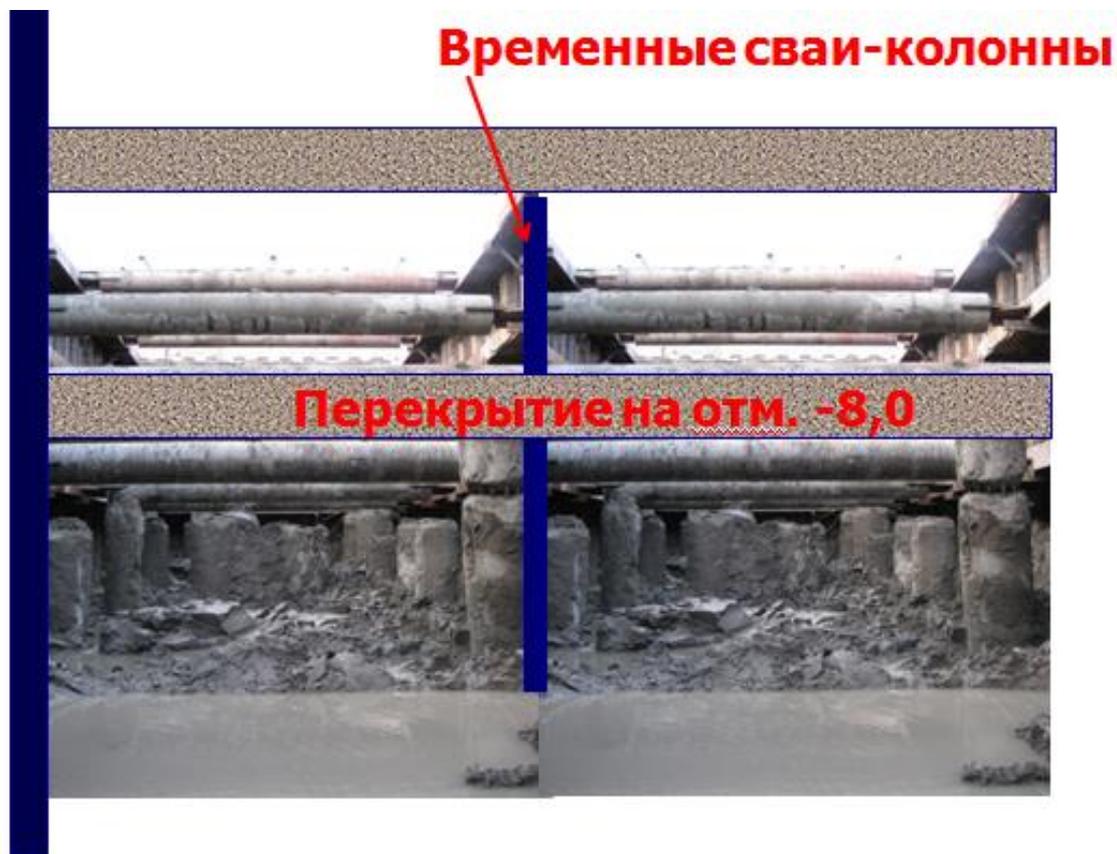


В «альтернативном проекте невозможно было сделать верхнее распорное перекрытие: оно разделено акустическими швами и находится на разных отметках

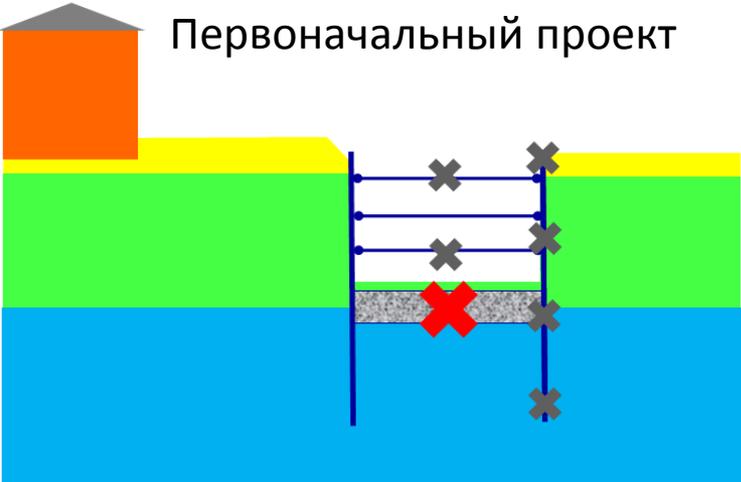




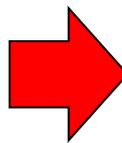
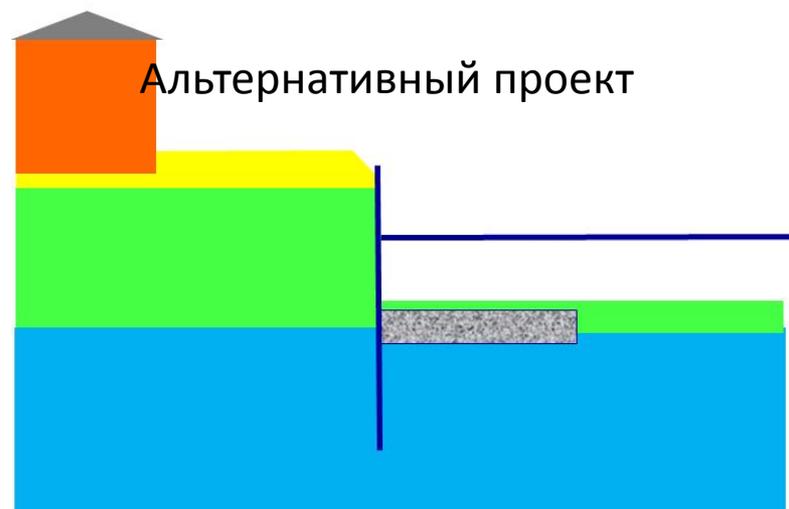
В «альтернативном» проекте устройство распорного диска на отм. -8,0 было заведомо невозможным из-за наличия голов свай



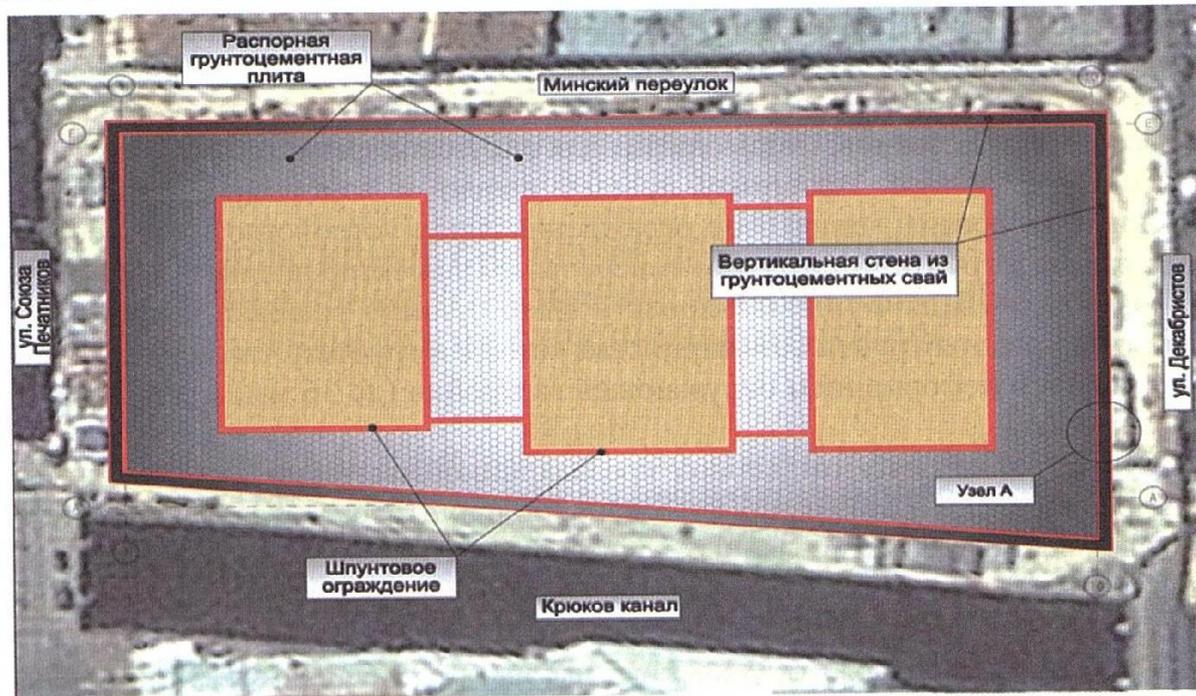
## Первоначальный проект



## Альтернативный проект



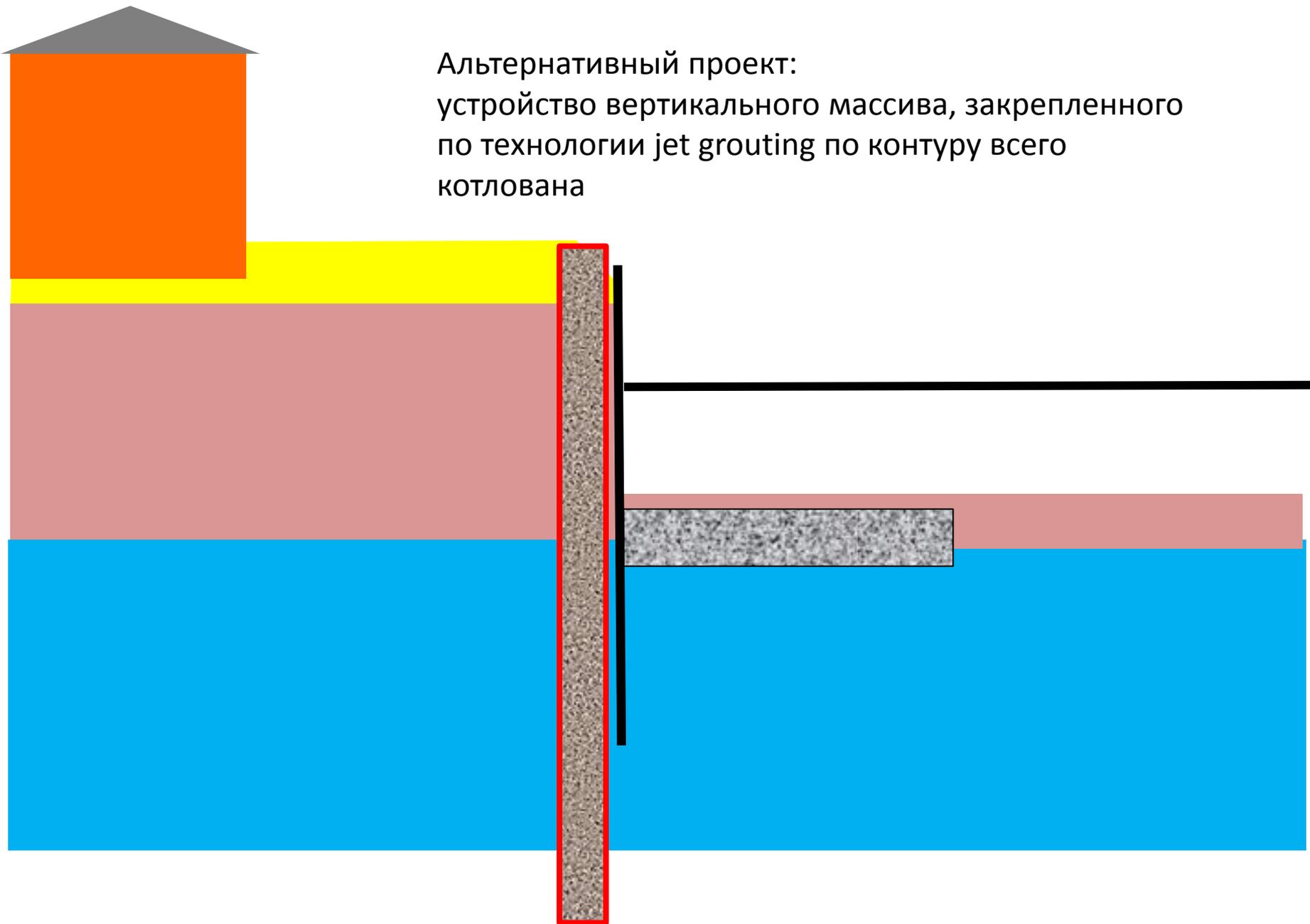
Проектирование и строительство подземной части нового здания Мариинского театра



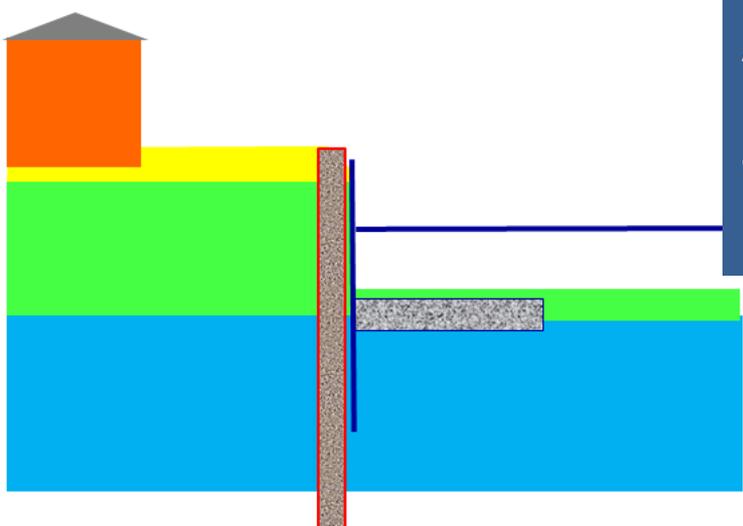
В «альтернативном» проекте закрепленный слой грунта не создает распорного уровня, затраты на его устройство – бросовые.

Рис. 2. Проектное решение по устройству ограждающих конструкций котлована и распорной грунтоцементной плиты

Альтернативный проект:  
устройство вертикального массива, закрепленного  
по технологии jet grouting по контуру всего  
котлована



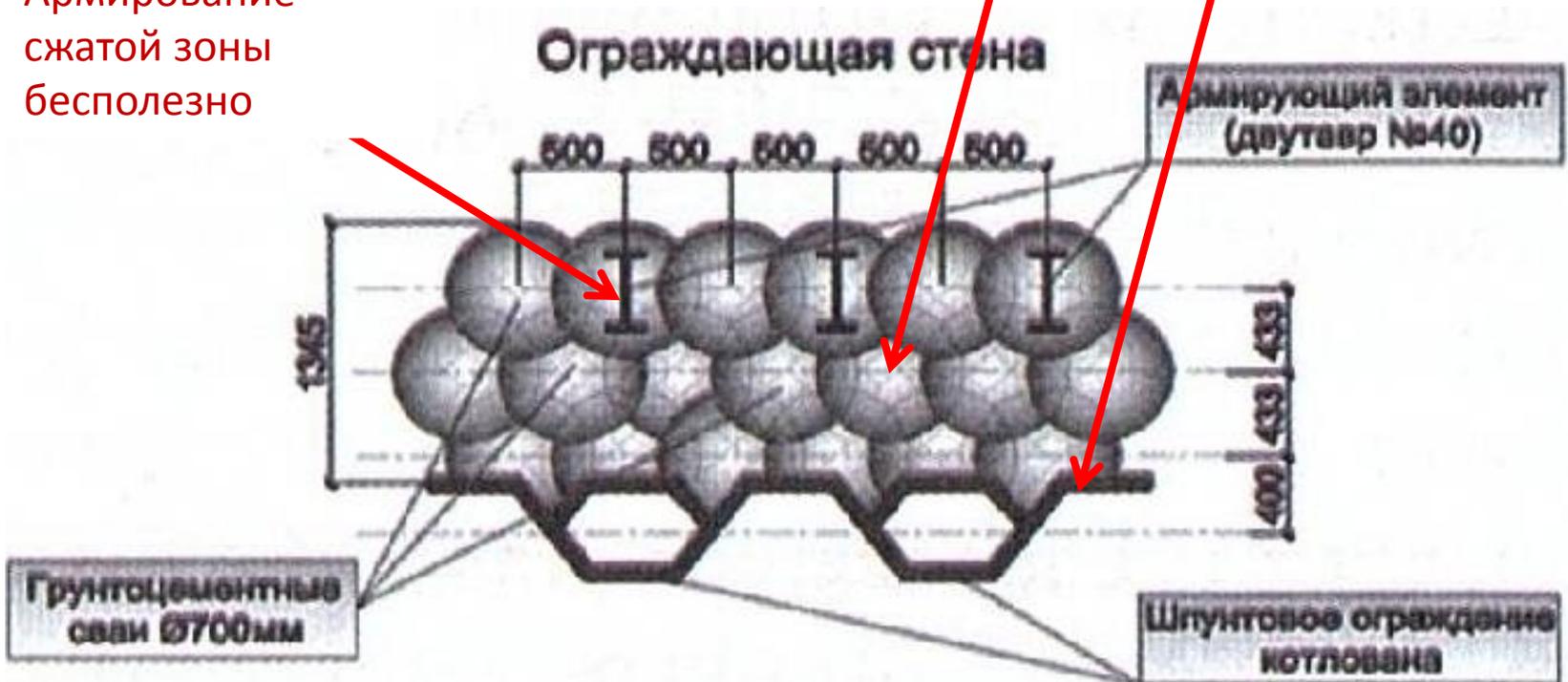
# Альтернативный проект: устройство вертикального массива, закрепленного по технологии jet grouting по контуру всего котлована



Грунтоцементный массив на изгиб не работает

Шпунт не работает как арматура в растянутой зоне

Армирование сжатой зоны бесполезно



Взаимодействие грунтоцемента и жесткой арматуры не исследовано

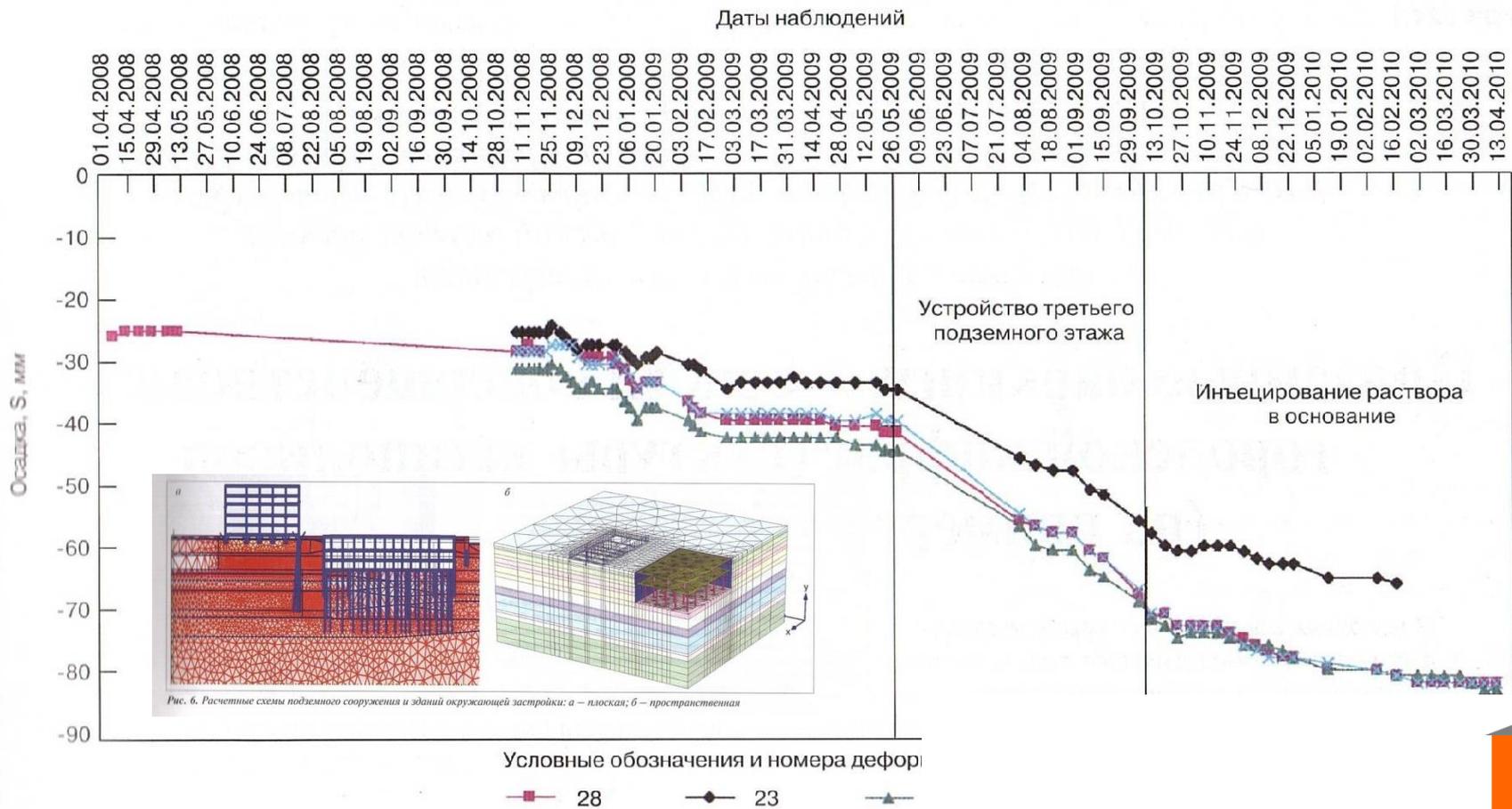
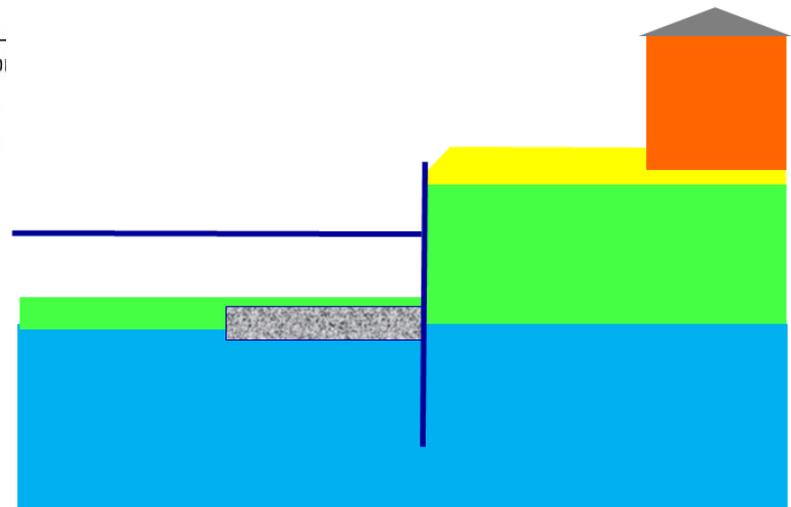


Рис. 9. Графики развития дополнительных осадок д. 1 по Минскому пер.

По расчетам Р.А.Мангушева и др. при реализации «альтернативного» проекта осадка соседних зданий может достичь 70-80 мм.



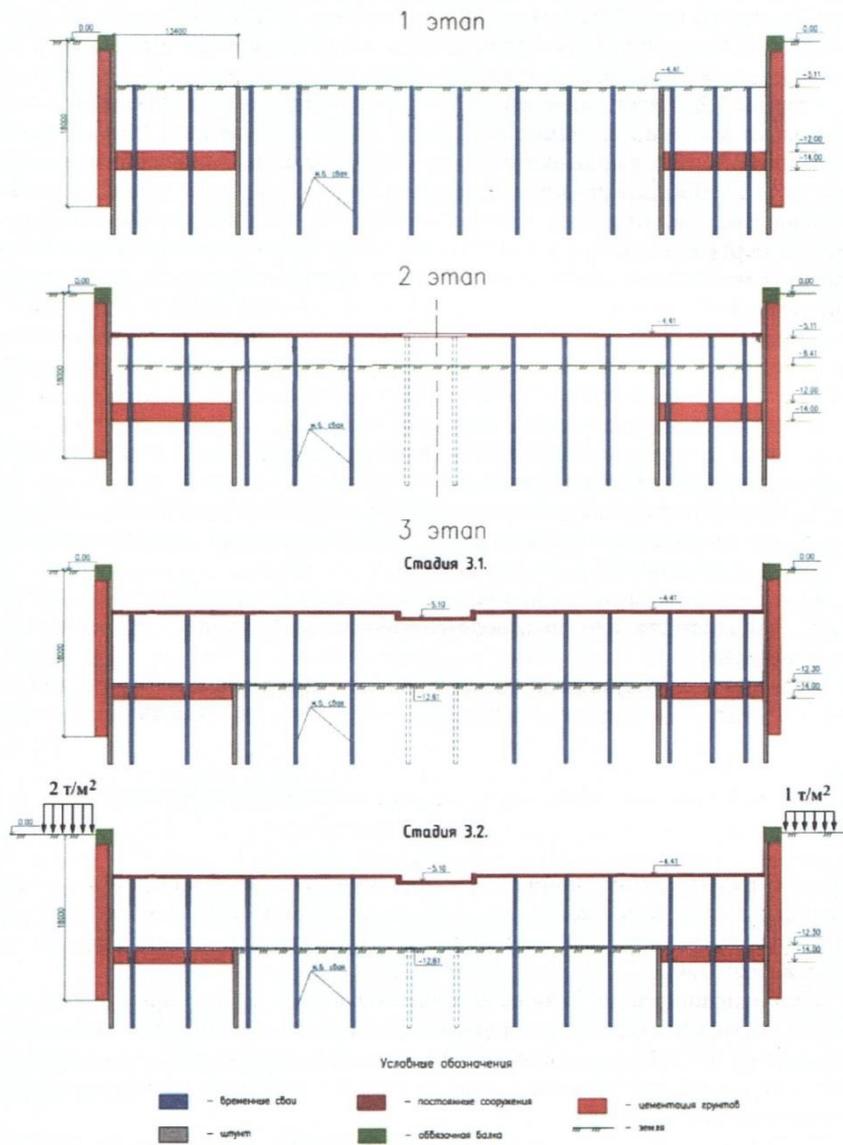


Рис. 5. Стадии разработки котлована, используемые в расчетах

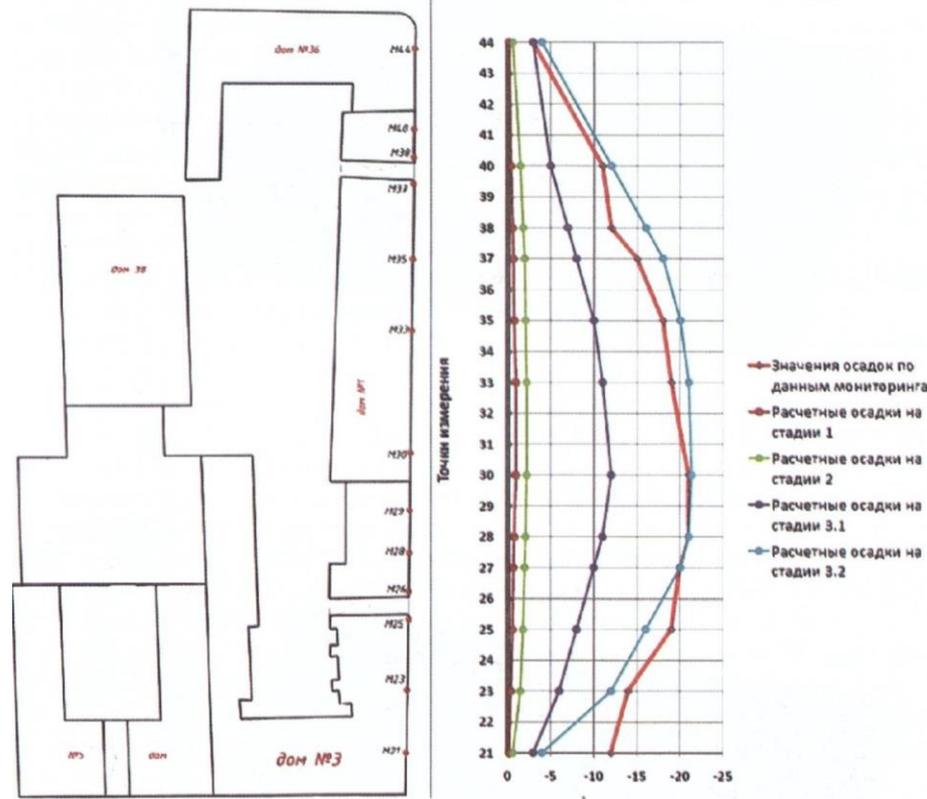
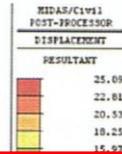


Рис. 7. Осадки фундаментов зданий по Минскому пер. по результатам мониторинга и расчета

По расчетам другой группы специалистов максимальные горизонтальные смещения ограждения при реализации «альтернативного» проекта должны были остаться в пределах 20 мм. Согласно официальным данным мониторинга они достигли 55 мм. В реальности при осадках домов на расстоянии 15 м более 70 мм смещения должны были достичь 140 мм

a)



Поскольку задача исследования состоит в определении осадок, вызванных процессами раскрытия и крепления котлована, массив грунта был принят невесомым, а в качестве нагрузок учитывался лишь собственный вес вновь возводимых конструкций, а также активное давление грунта на стены котлована в пределах их высоты, равной 1,33 глубины выемки грунта [5].

b)

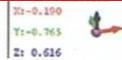


Рис. 6. Суммарные перемещения зоны котлована, мм: а – стадия 3.1; б – стадия 3.2

Элементами пластин представлено внешнее и внутреннее металлическое шпунтовое ограждение, а также горизонтальная грунтоцементная плита толщиной 2,0 м, выполненная по технологии Jet-grouting. Армированная двутаврами стена в грунте толщиной 1,5 м, железобетонный ростверк и подпорные стены набережных заданы с помощью объемных призматиче-

скова канала  
угие харак-

исле 9 типов  
м. таблицу),  
ждения, ма-  
гывающими  
ты и матери-

выполнены  
в учтены на  
итерацион-

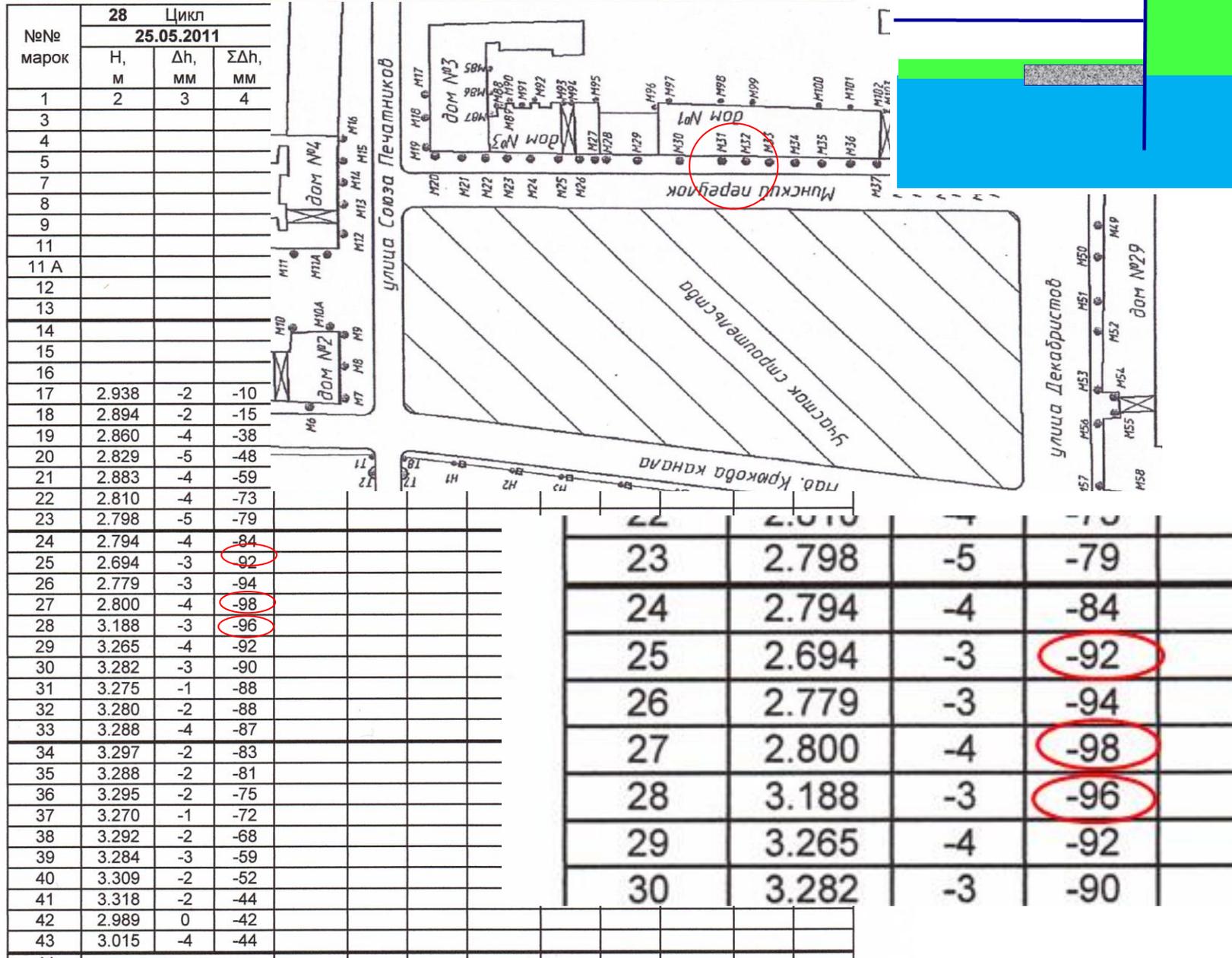
ным методом Ньютона – Рафсона. Итерационный процесс выполнялся до достижения точности по перемещениям, равной 1,0 %. Заданная точность достигалась после выполнения 4-5 итераций.

Поскольку задача исследования состоит в определении осадок, вызванных процессами раскрытия и крепления котлована, массив грунта был принят невесомым, а в качестве нагрузок учитывался лишь собственный вес вновь возводимых конструкций, а также активное давление грунта на стены котлована в пределах их высоты, равной 1,33 глубины выемки грунта [5].

Для проверки правомерности исходных положений постановки задачи был выполнен объемный расчет грунтового массива без выемки, в котором учитывались нагрузки от собственного веса зданий застройки. Результаты расчета показали, что нормальные сжимающие и касательные напряжения в грунтовом массиве не превышают расчетных сопротивлений грунтов сжатию и сдвигу. Нагрузки от собственного веса зданий застройки не вызывают значительных пластических деформаций в грунтовом массиве и разрывов сплошности грунтов. Таким образом, изложенные выше основные принципы моделирования можно считать обоснованными.

Расчеты для каждой из трех рассмотренных стадий производства строительных работ выполнены по самостоятельным конечно-элементным расчетным схемам.

Таблица      **Объект: Мариинский театр**  
 отметок осадочных марок, установленных на фундаментах.



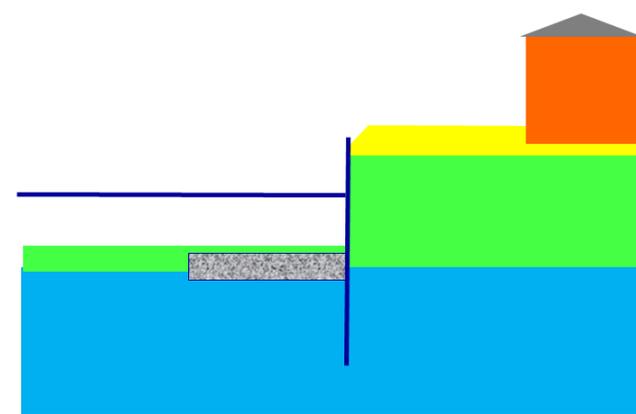
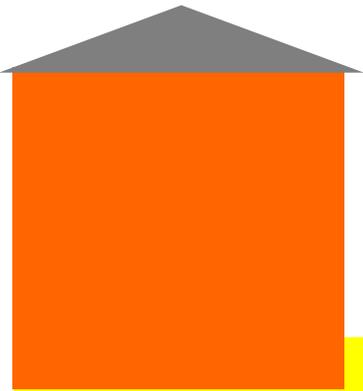
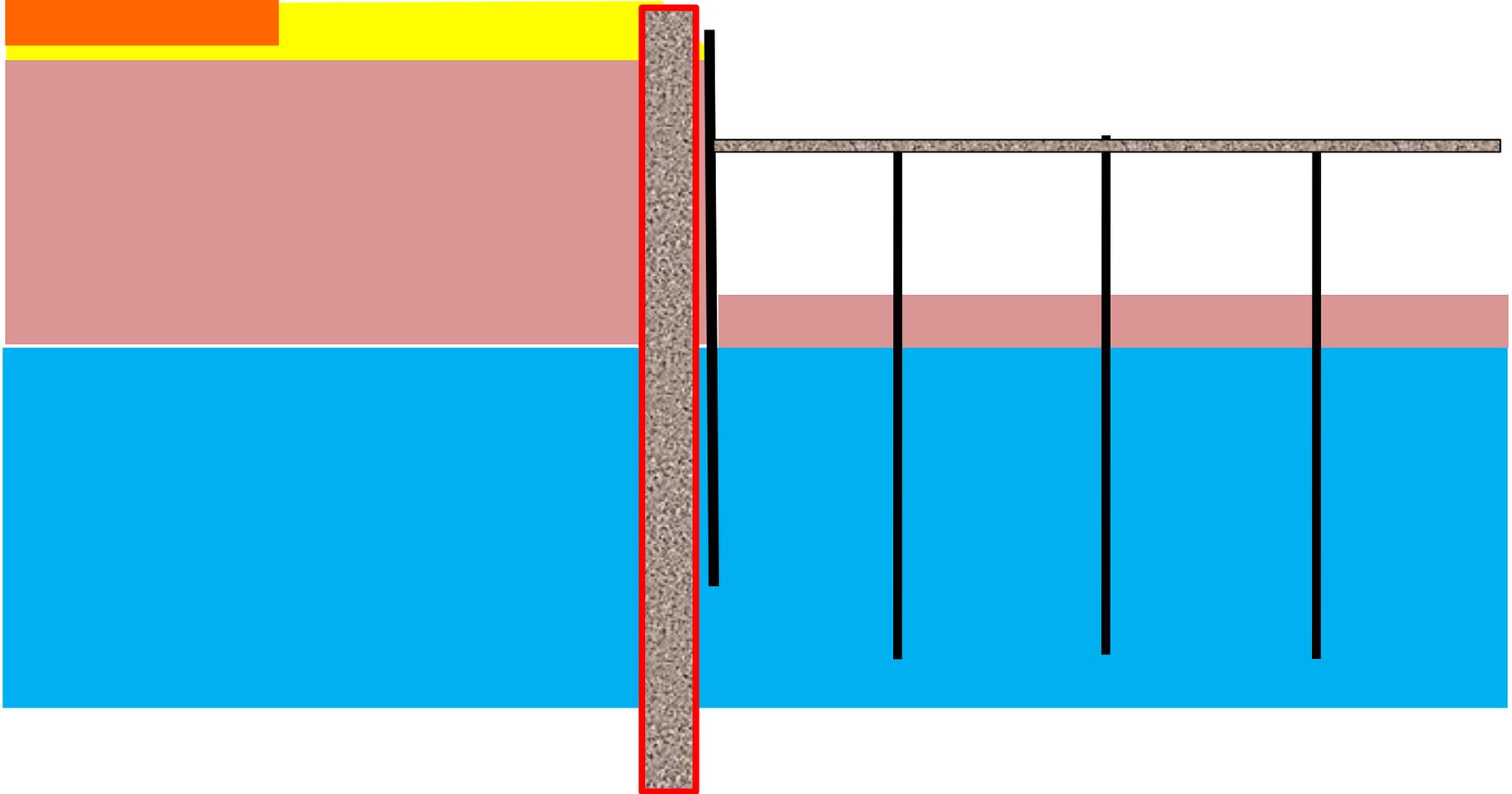


рис. 21. Вид инъекционных труб, свай усиления «Титан» и обвязочной балки

Усиление зданий по Минскому пер., находящихся на расстоянии 15 м от котлована



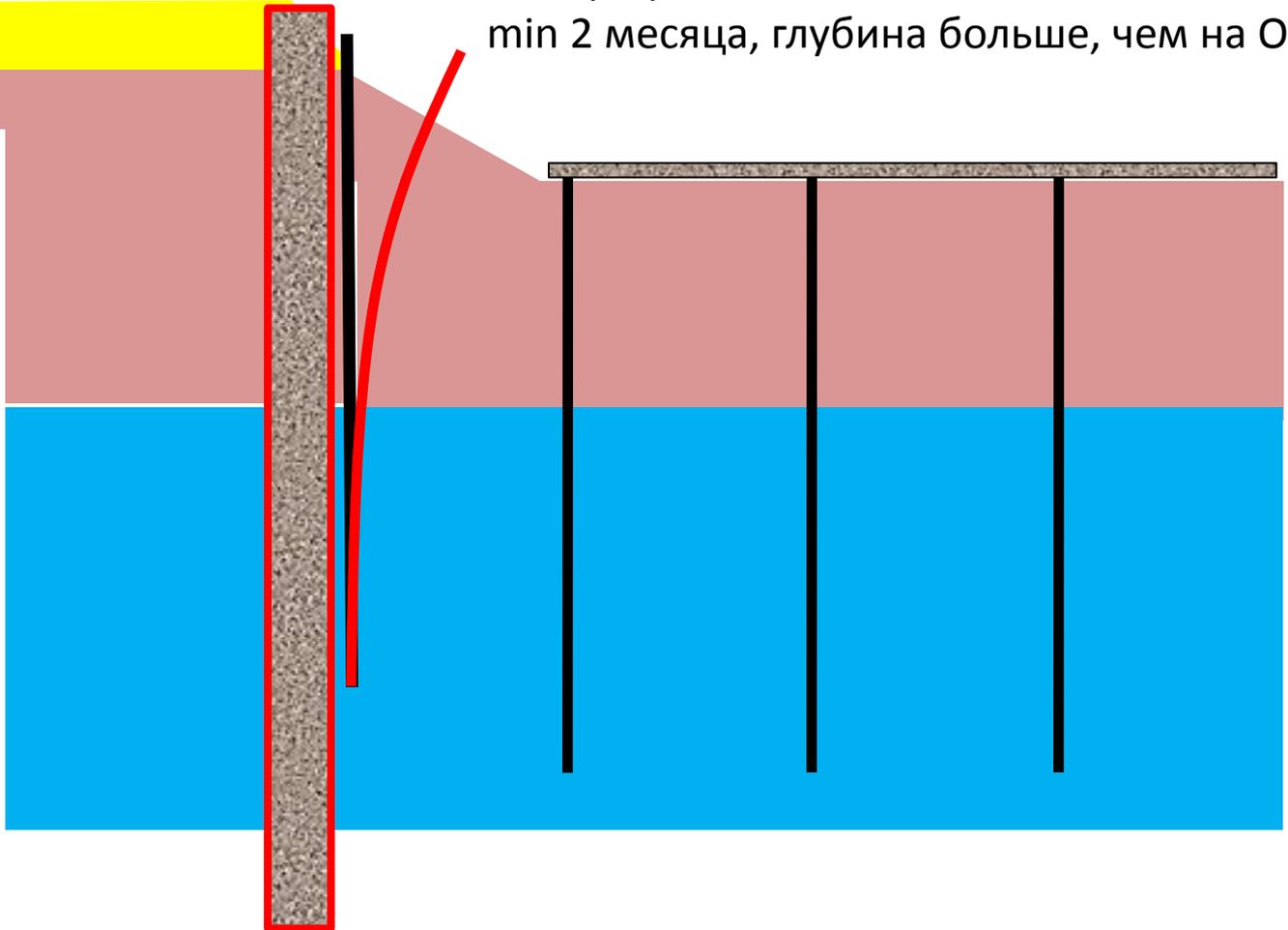
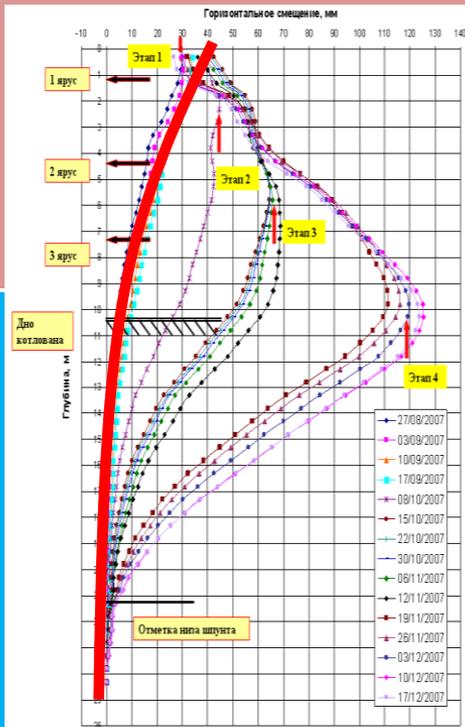
Альтернативный проект:  
Идея устройства подземного объема по технологии top-down с  
**единственным** распорным диском



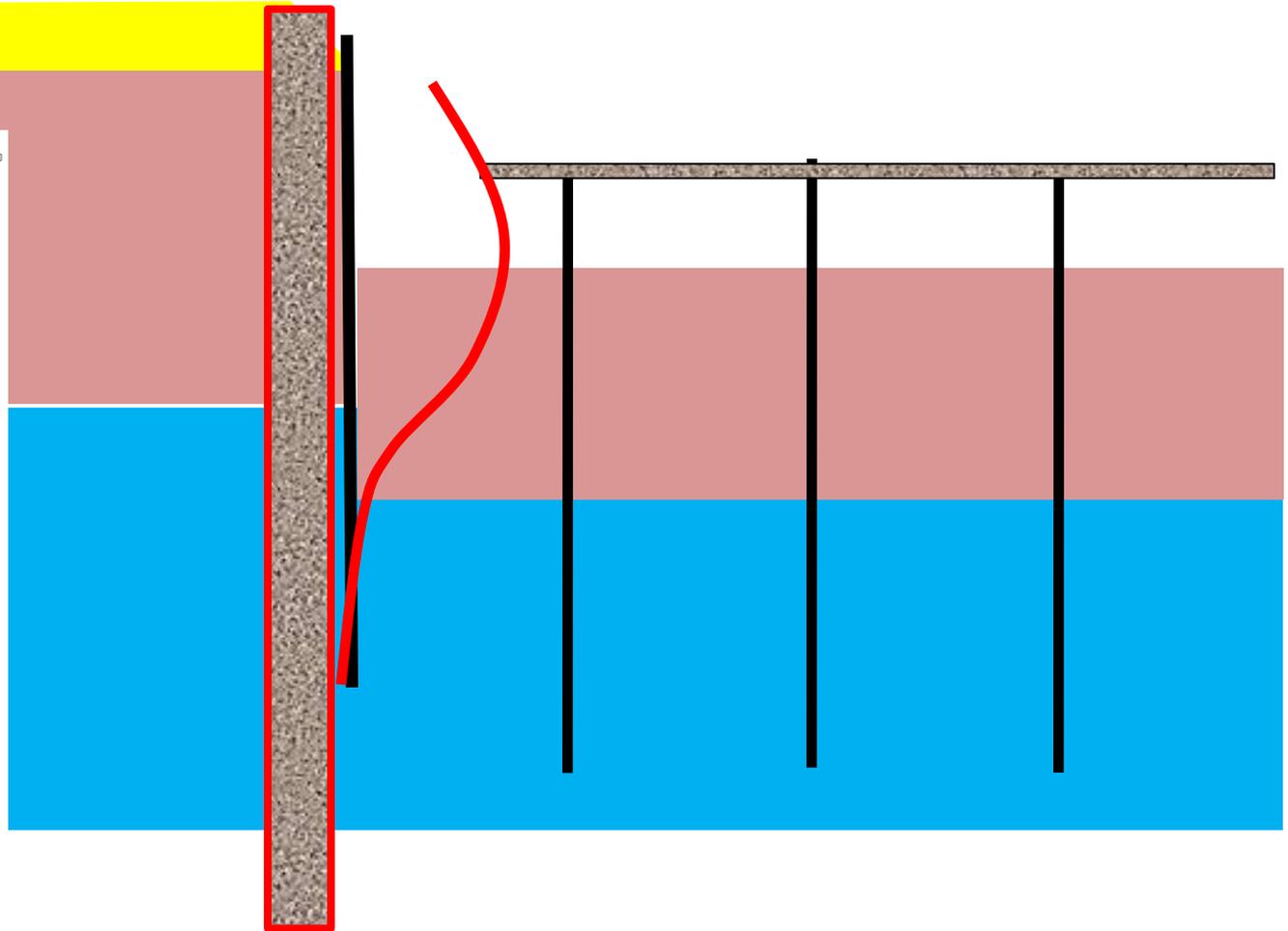
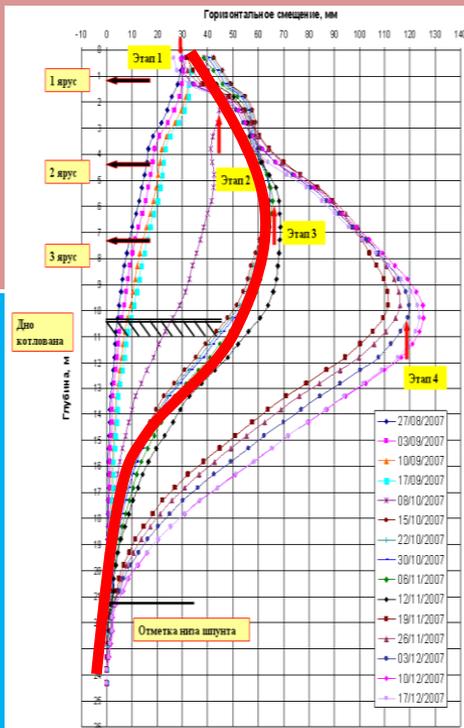
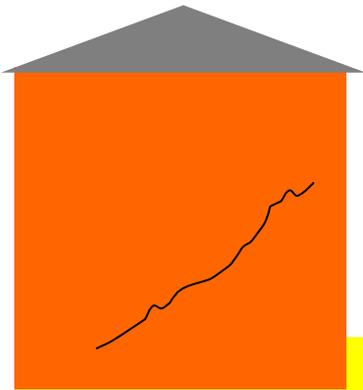
Альтернативный проект:

Характер деформирования будет аналогичен исследованному на ОП

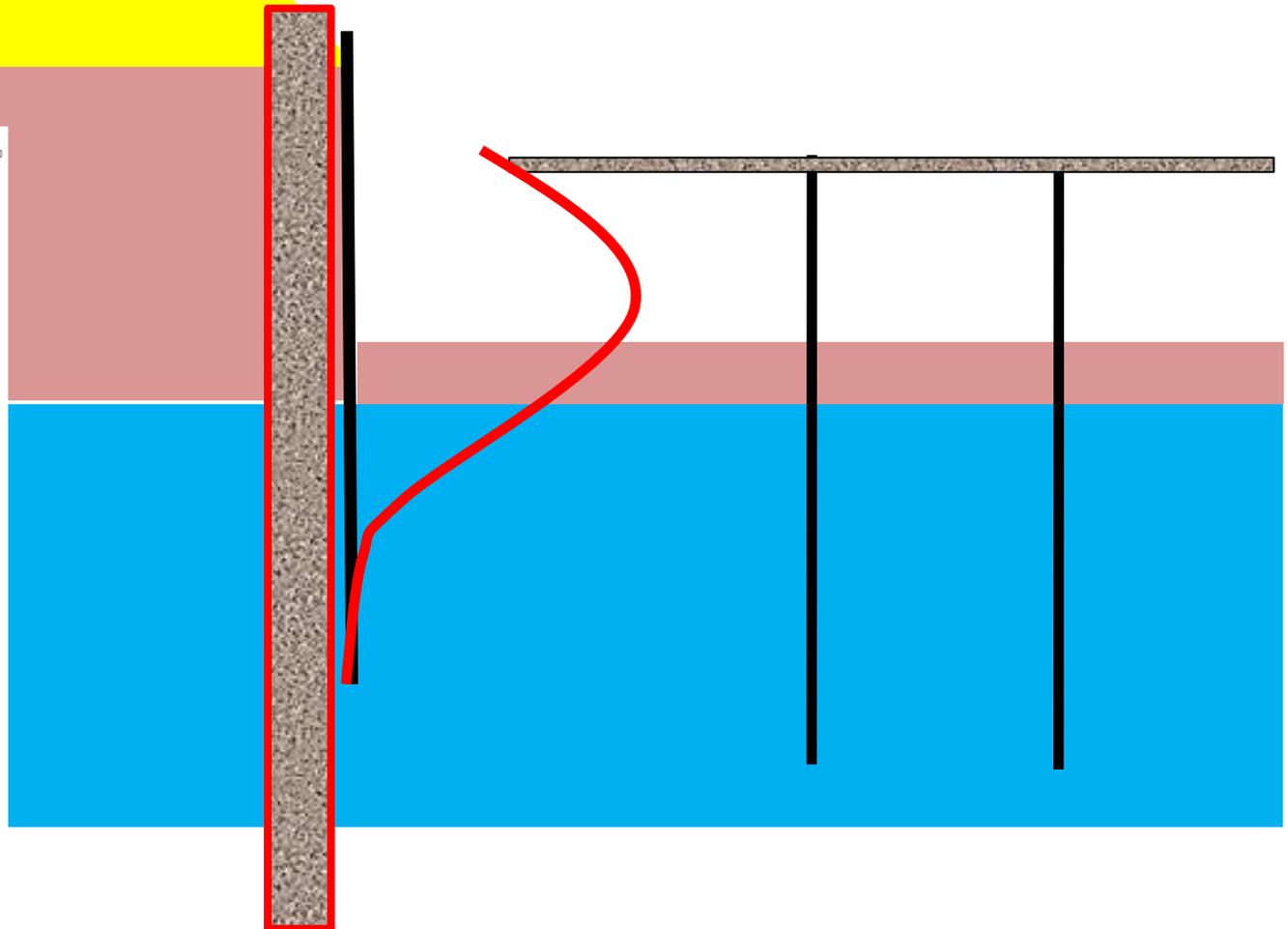
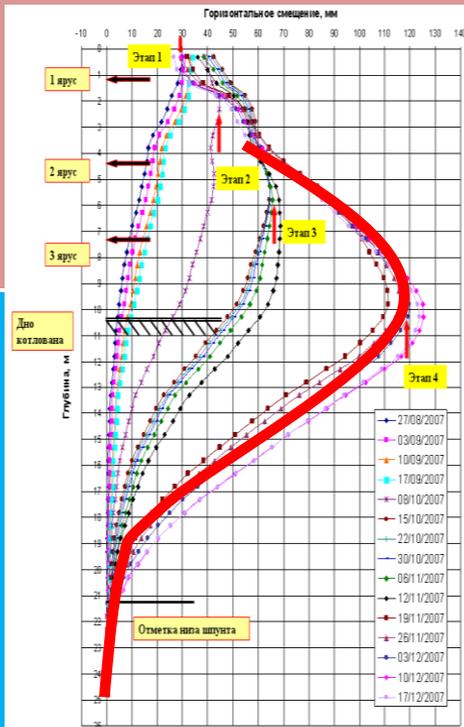
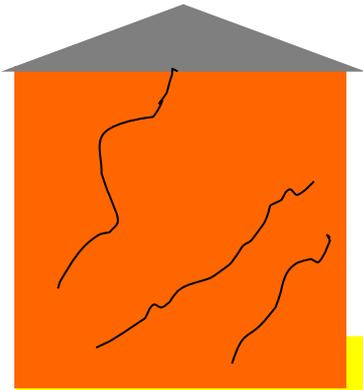
Набор прочности  
min 2 месяца, глубина больше, чем на ОП



Альтернативный проект:  
Вертикальный массив закрепленного грунта  
не способен работать на изгиб и поэтому неэффективен



Альтернативный проект: Суммарные смещения ограждения будут подобны наблюдаемым на ОП (140 мм), а здания на расстоянии 15 м получат доп. осадку, равную половине от них + 70 мм.



Применение новой технологии работ, с одной стороны, позволило отказаться от использования металлических распорных конструкций; т. е. сэкономило 4910 т металла. С другой стороны, это потребовало дополнительных затрат в количестве 311 шт., 442 т металлических конструкций для «грунта» и 30 910 т цемента для закрепления грунта под зданиями.

...ных моментов, повлиявших на изменение стоимости изменения группы разрабатываемых грунтов после (п. 5).

Таблица 5

по закреплению

структуре грунтов

по инвариантам проекта, %

Отметки, м

пунктам проекта

Итак, вынужденное изменение технологии проведения работ повлекло за собой увеличение средней стоимости земляных работ, размер которой составил:

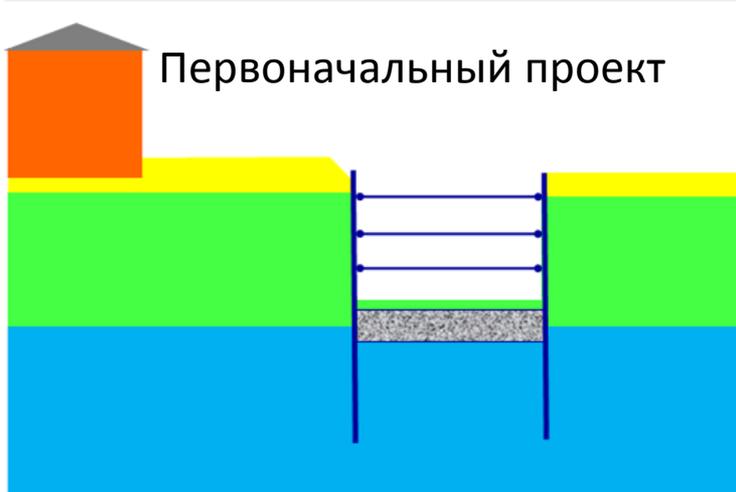
- в целом по земляным работам – на 46,0 %;

Ниже приведен расчет стоимости 1 м<sup>3</sup> земляных работ в зависимости от изменения группы грунтов, показывающий влияние изменения группы грунта на стоимость работ (табл. 6).

Итак, вынужденное изменение технологии проведения работ повлекло за собой увеличение средней стоимости земляных работ, размер которой составил:

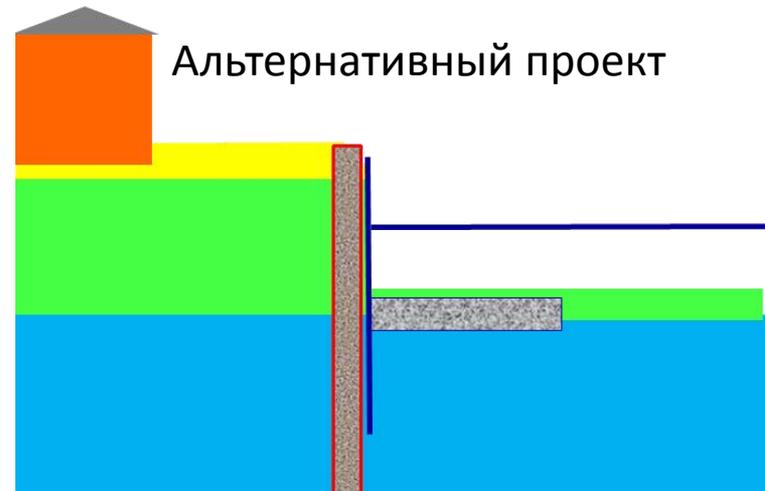
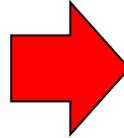
- в целом по земляным работам – на 46,0 %;
- по разработке 1 м<sup>3</sup> грунта по объекту – на 2,634 р./м<sup>3</sup>, по заработной плате – на 1,284 р./м<sup>3</sup>, по эксплуатации машин и механизмов – на 1,349 р./м<sup>3</sup> (в том числе по зарплате – на 0,596 р./м<sup>3</sup>);
- на отметках –2,88...–7,5 м по разработке 1 м<sup>3</sup> грунта – в целом на 0,518 р./м<sup>3</sup>, по заработной плате – на 0,216 р./м<sup>3</sup>, по эксплуатации машин и механизмов – на 0,302 р./м<sup>3</sup> (в том числе по зарплате – на 0,032 р./м<sup>3</sup>);
- на отметках –7,5...–12,08 м по разработке 1 м<sup>3</sup> грунта – в целом на 2,220 р./м<sup>3</sup>, по заработной плате – на 1,169 р./м<sup>3</sup>, по эксплуатации





4 уровня распорных креплений

Доп. осадка соседних зданий от откопки котлована 10 мм



1 уровень распорных креплений +  
наружная стенка jet grouting, не  
работающая на изгиб

Доп. осадка соседних зданий 70-  
80 мм

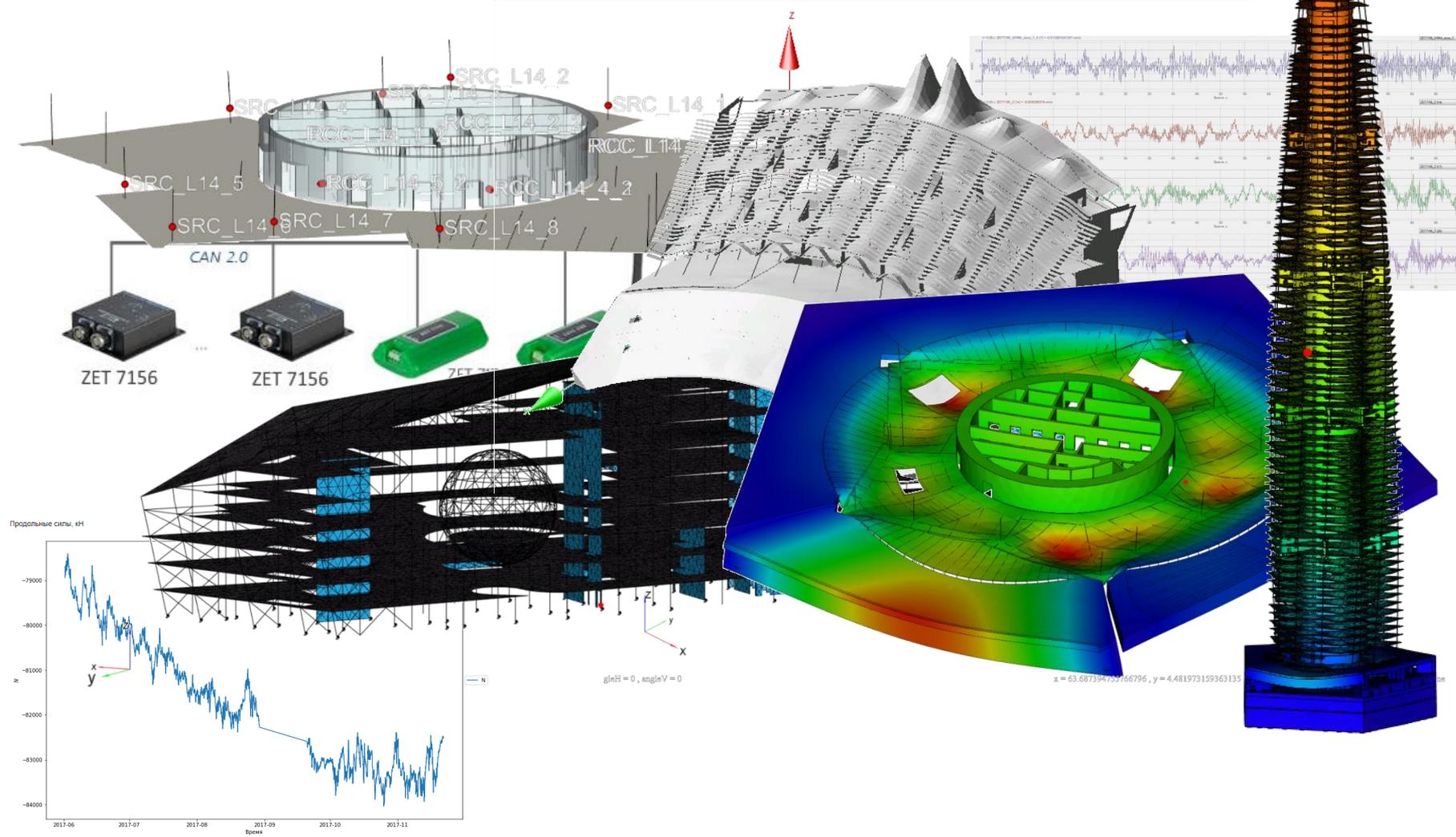
Увеличение стоимости  
в 2 раза

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

# Системы мониторинга зданий и сооружений при эксплуатации



# Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации



-Штурман, прибор!

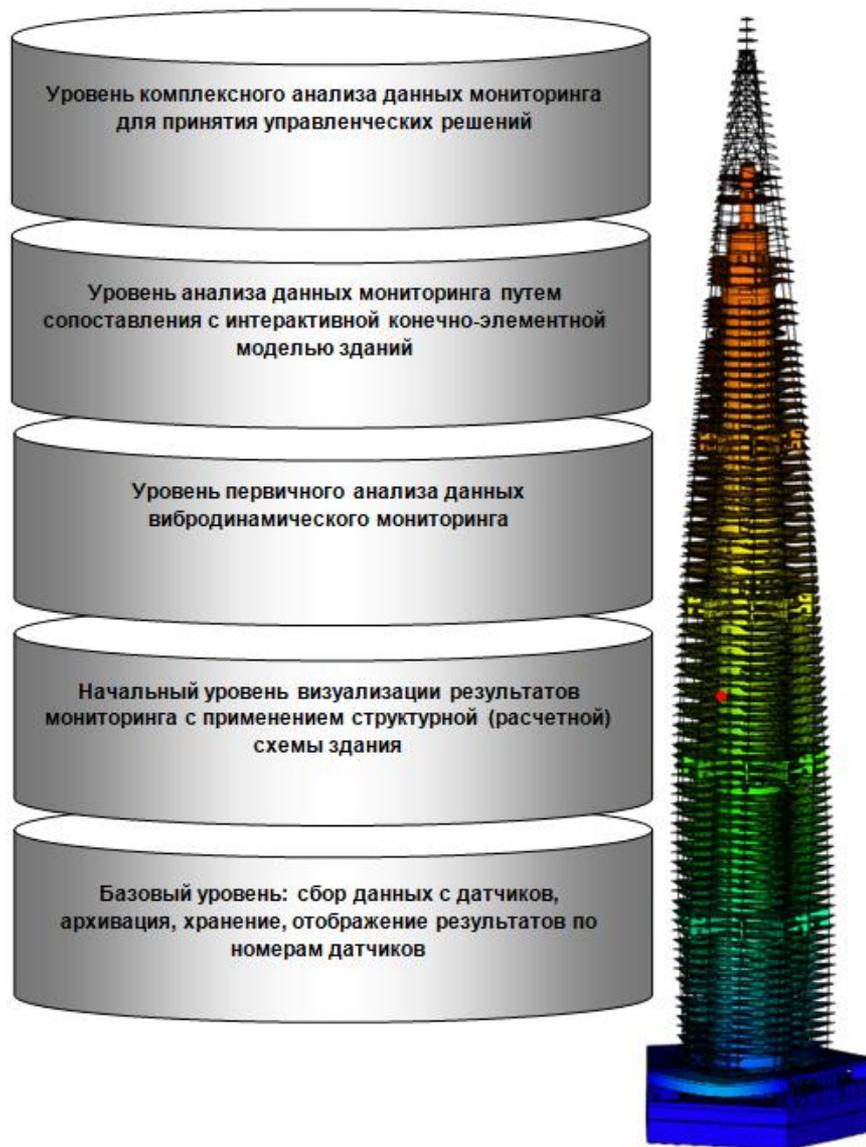
- Двадцать два.

- Что двадцать два?

- А что прибор?

*Необходим расчетный  
прогноз измеряемых  
величин*

## Иерархическая структура программного обеспечения для анализа результатов мониторинга



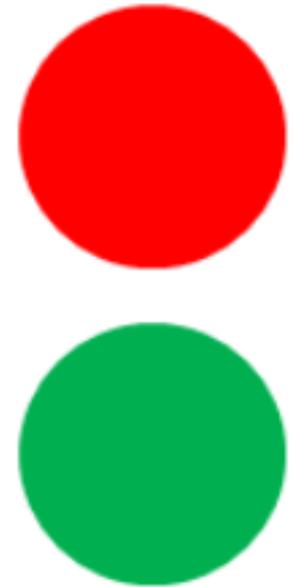
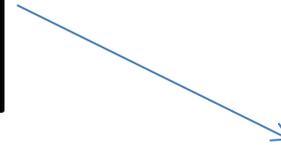
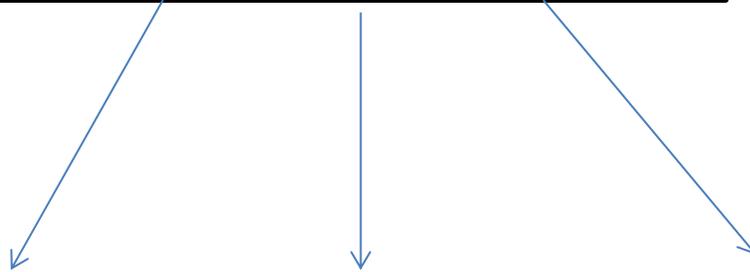
Система мониторинга должна быть построена по иерархическому принципу.

Только в этом случае возможен сложный анализ данных с датчиков системы мониторинга инженерных конструкций.

# Алгоритм принятия управленческих решений

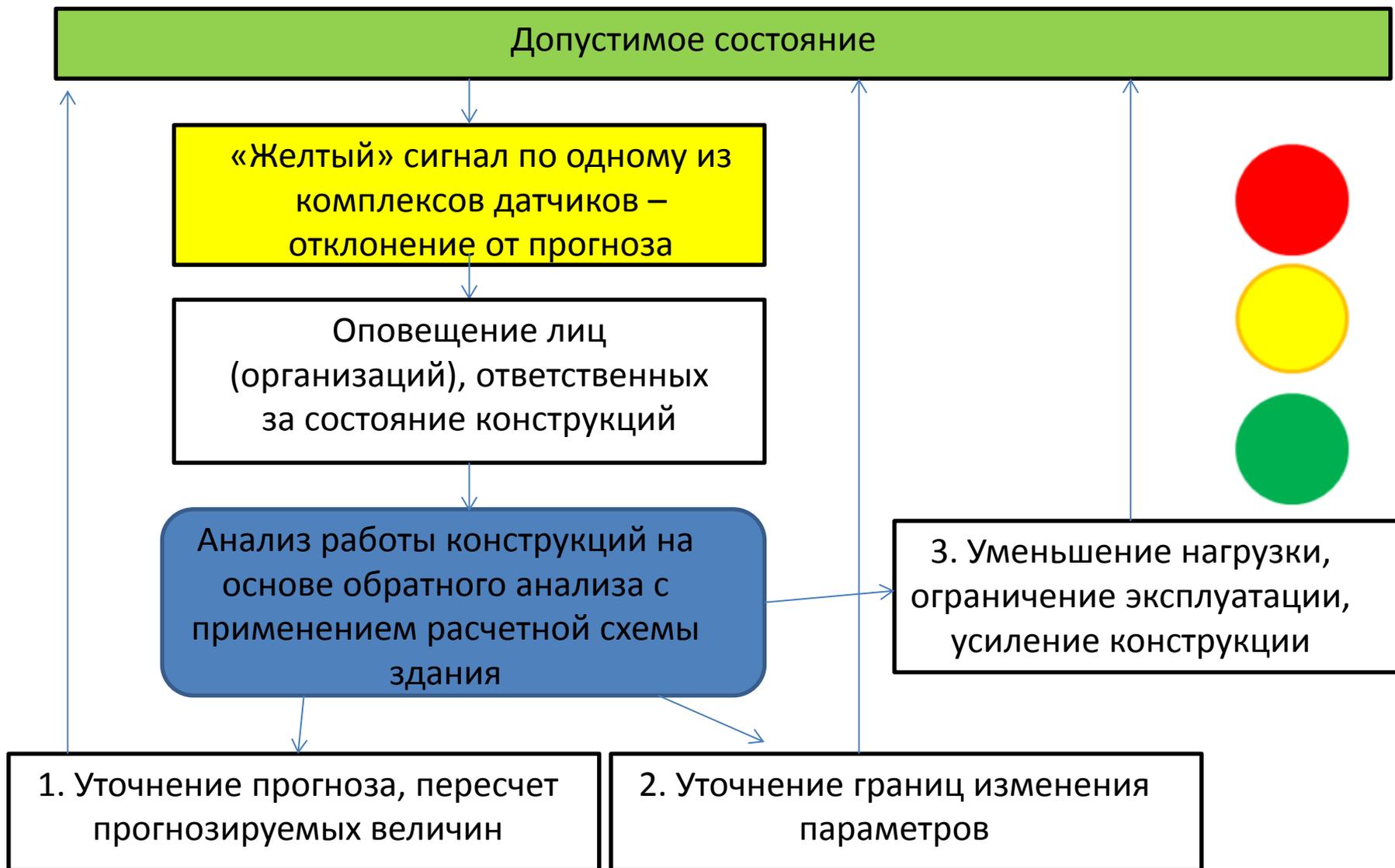
Допустимое состояние

«Красный» сигнал по одному из комплексов датчиков – недопустимое состояние



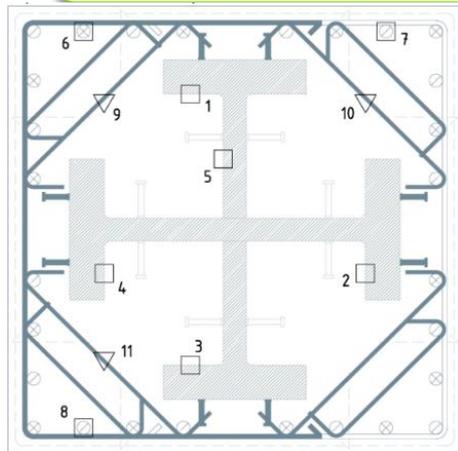
Какие решения следует принять?

# Упрощенный алгоритм принятия управленческих решений



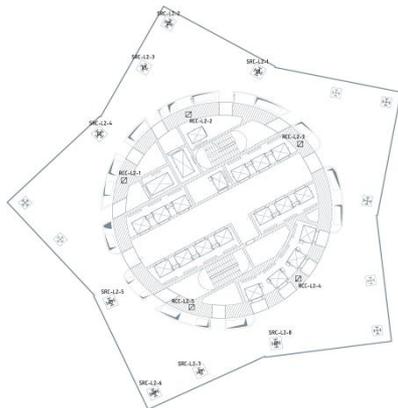
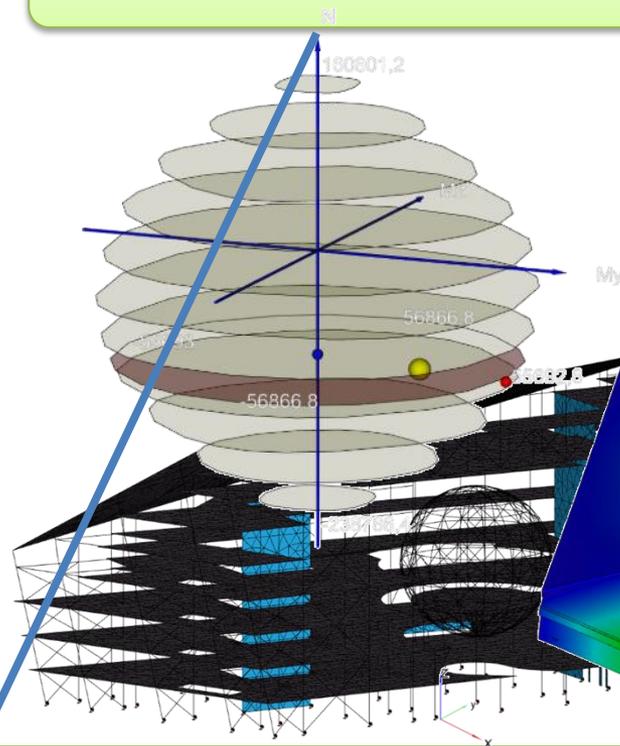
# Основные составляющие интерактивной системы мониторинга:

1) Данные с датчиков

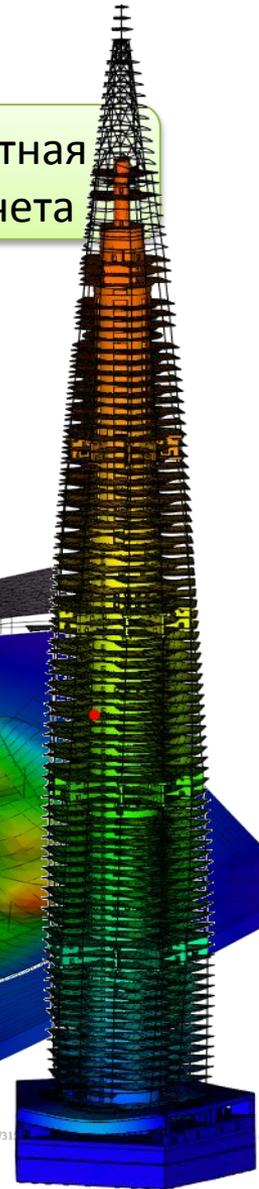


2) Интерактивная расчетная схема и результаты расчета

3) Сравнение с расчетом

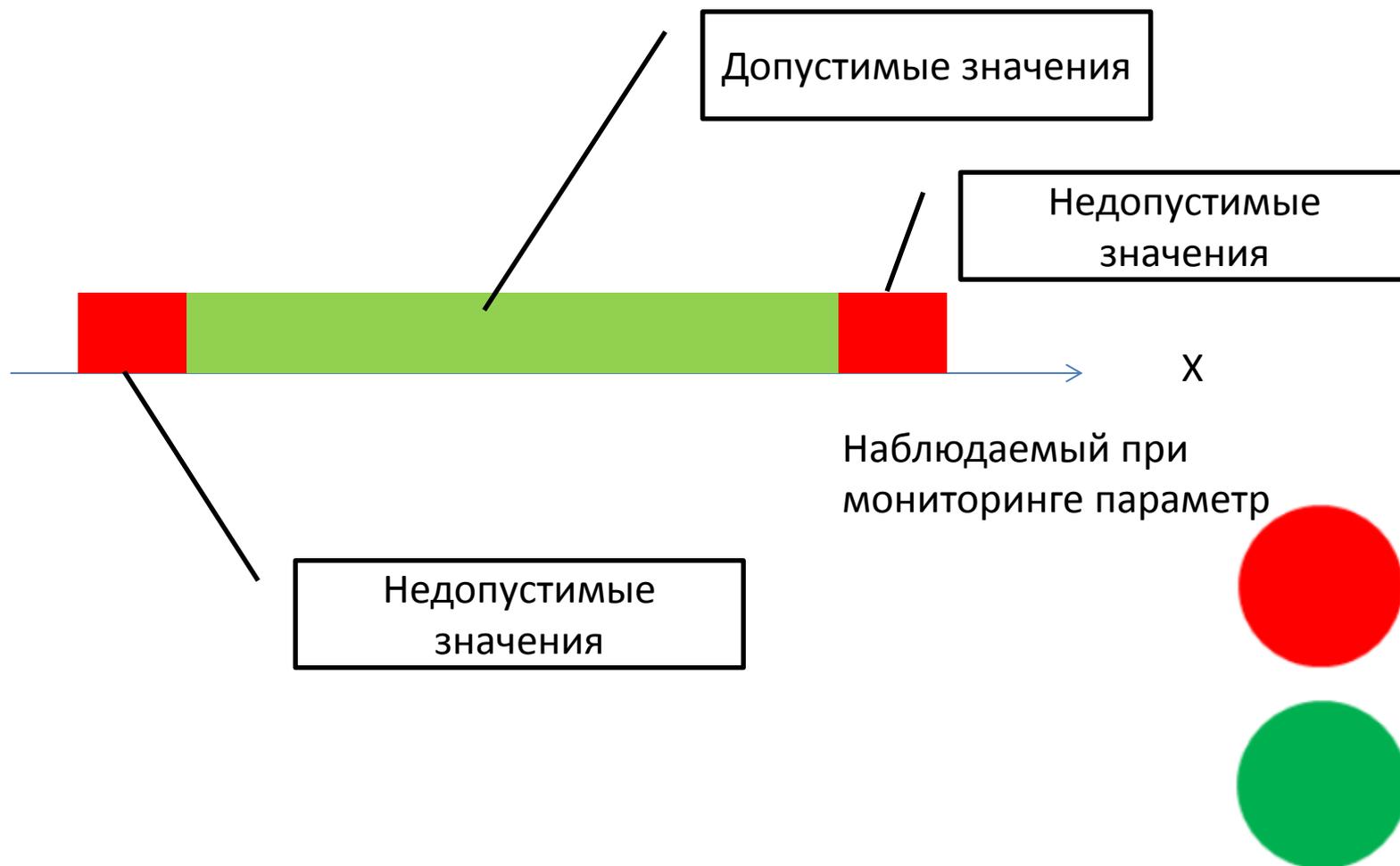


4) Система принятия управленческих решений



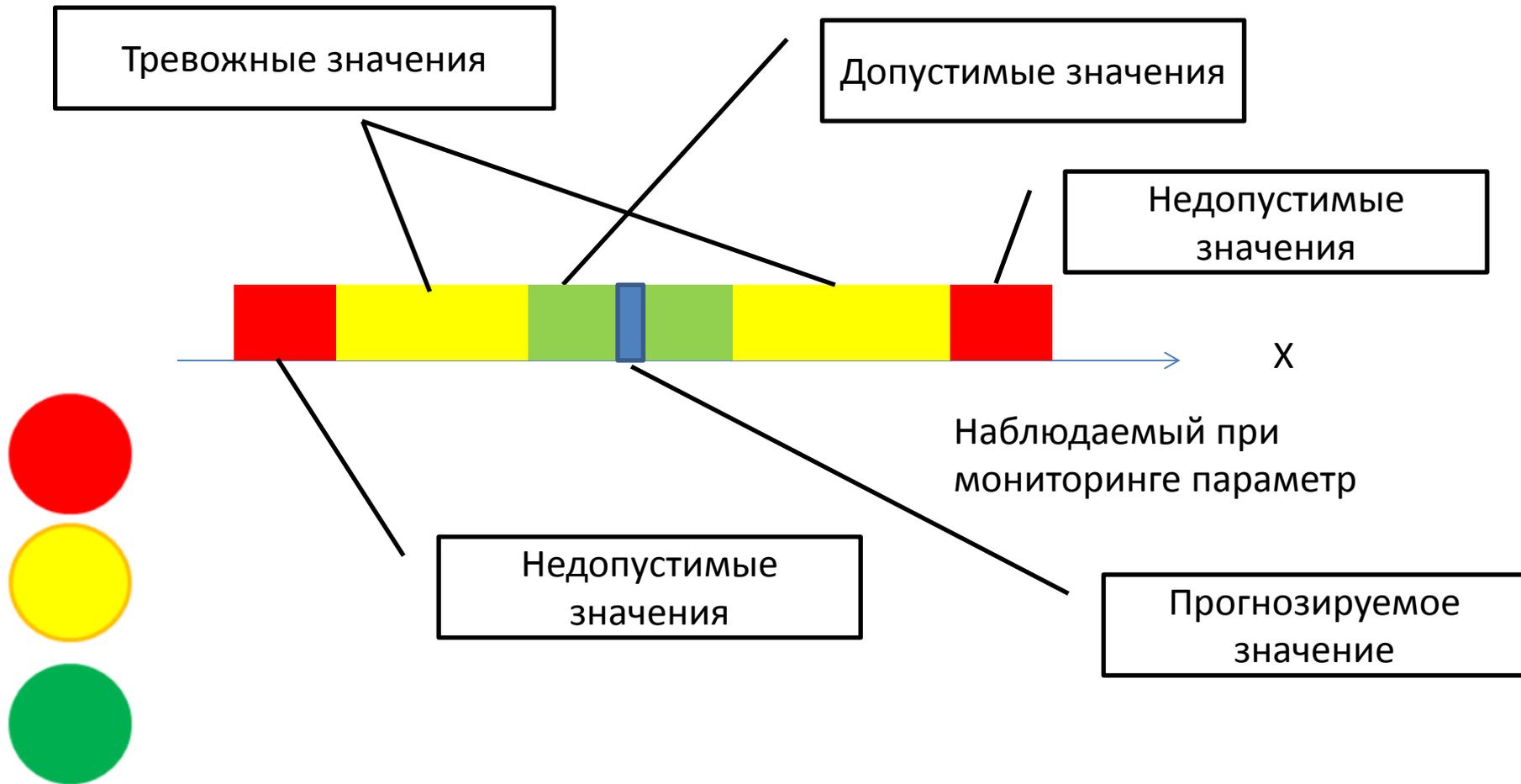
# 1. Анализ данных с датчиков

Красная граница (недопустимое состояние) определена в нормах. Однако мониторинг столько с двумя состояниями (допустимые значения – авария) без промежуточного состояния не имеет смысла.



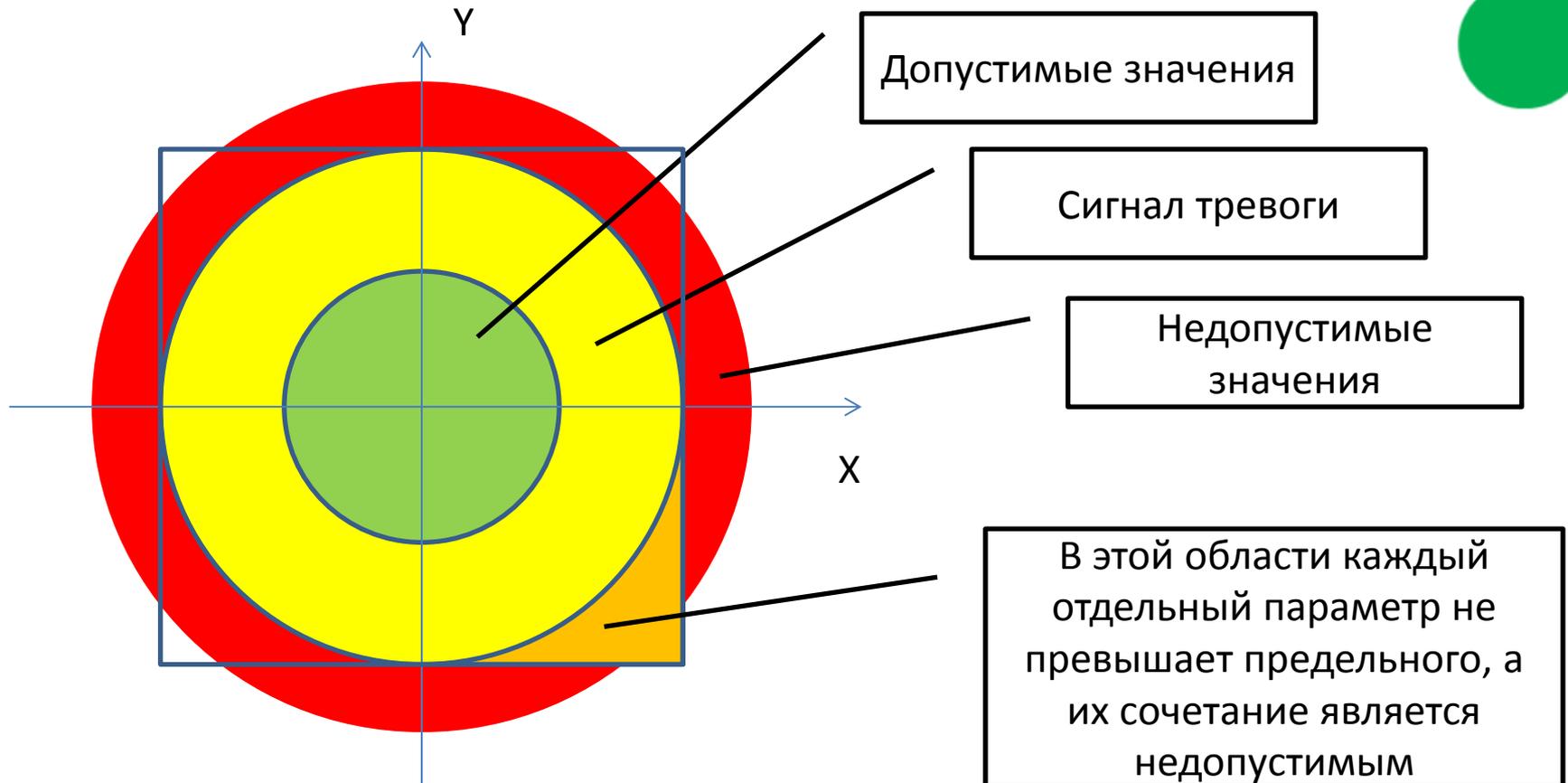
# 1. Анализ данных с датчиков

Тревожные значения – существенное отклонение параметров от расчетного прогноза.



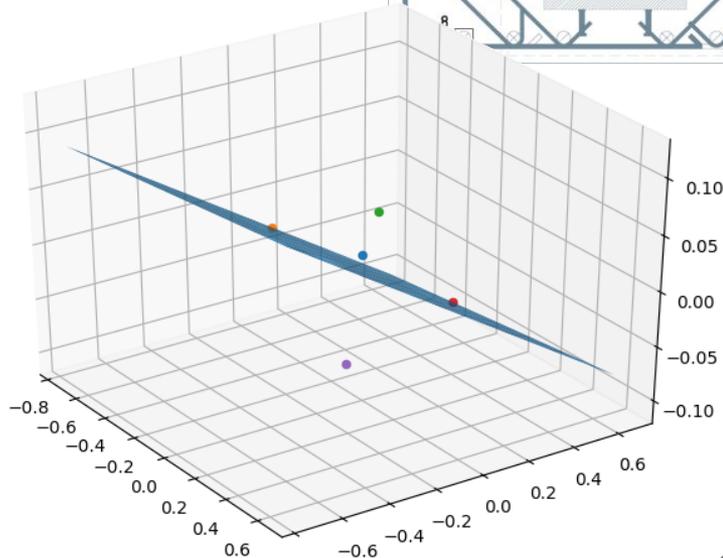
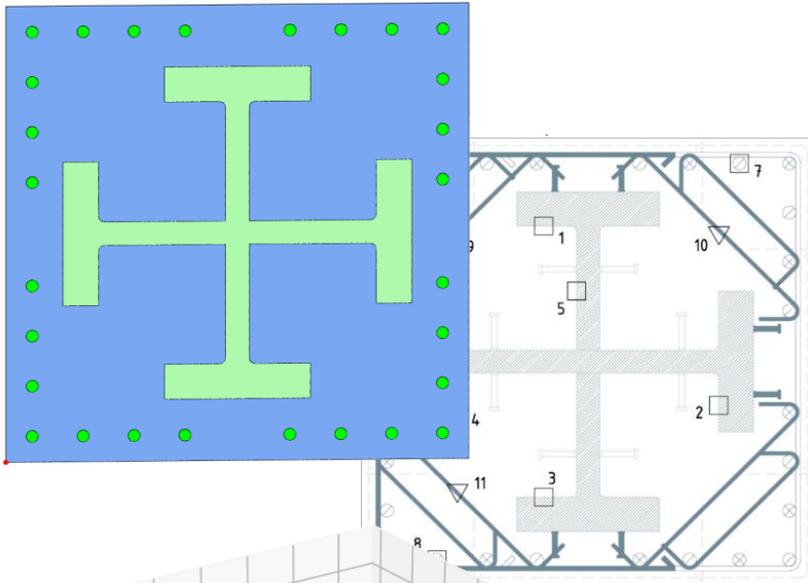
# 1. Анализ данных с датчиков

1.1. Комплексный анализ датчиков: простейший пример комплексных данных – наклон в двух направлениях



# 1. Анализ данных с датчиков

## 1.1. Комплексный анализ датчиков в сечении: определение продольных и изгибных деформаций методом наименьших квадратов



$$\epsilon_0 \cdot n + k_y \cdot \sum_{i=1}^n z_i + k_z \cdot \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n \epsilon_i \quad (1)$$

$$\epsilon_0 \cdot \sum_{i=1}^n z_i + k_y \cdot \sum_{i=1}^n z_i^2 + k_z \cdot \sum_{i=1}^n y_i \cdot z_i = \sum_{i=1}^n \epsilon_i \cdot z_i \quad (2)$$

$$\epsilon_0 \cdot \sum_{i=1}^n y_i + k_y \cdot \sum_{i=1}^n y_i \cdot z_i + k_z \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 = \sum_{i=1}^n \epsilon_i \cdot y_i \quad (3)$$

$$A = \begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n z_i & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n z_i & \sum_{i=1}^n (z_i)^2 & \sum_{i=1}^n (y_i) \cdot (z_i) \\ \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n (y_i) \cdot (z_i) & \sum_{i=1}^n (y_i)^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.00000000 & 0.00000000 & 0.00000000 \\ 0.00000000 & 0.21160000 & 0.00000000 \\ 0.00000000 & 0.00000000 & 0.21160000 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \epsilon_i \\ \sum_{i=1}^n (\epsilon_i) \cdot (z_i) \\ \sum_{i=1}^n (\epsilon_i) \cdot (y_i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.00880000 \\ 0.00395600 \\ -0.02962400 \end{pmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} \epsilon_0 \\ k_y \\ k_z \end{pmatrix}$$

$$x = A^{-1} \cdot B$$

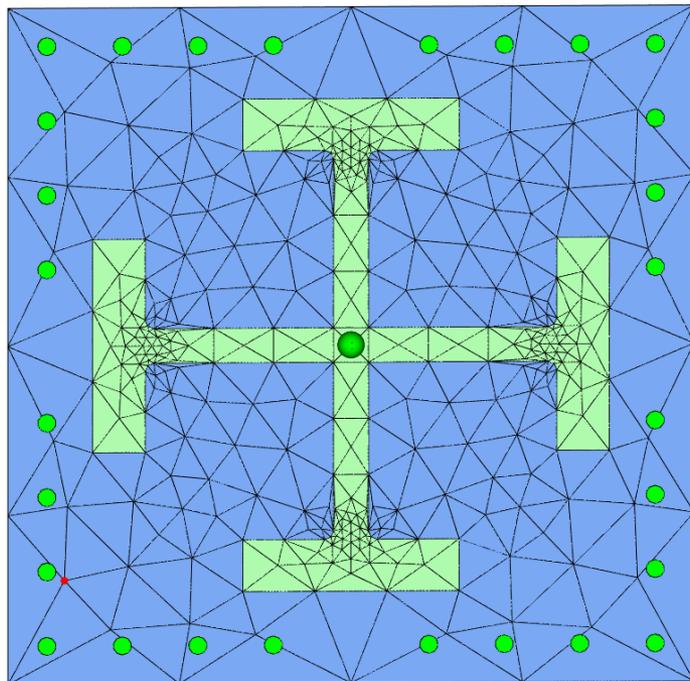
$$\epsilon_0 = x_{0,0} = -0.00176000$$

$$k_y = x_{1,0} = 0.01869565$$

$$k_z = x_{2,0} = -0.14000000$$

# 1. Анализ данных с датчиков

## 1.2. Определение жесткости произвольного (в том числе сталежелезобетонного) сечения



Сечение разбивается на треугольники. Может содержать любое сочетание различных материалов. Отдельно задается арматура – точечные объекты, имеющие площадь. Геометрические характеристики сечения интегрируются по треугольникам и по точечным объектам

$$EA = 113739320.00$$

$$GI_x = 8072881.74$$

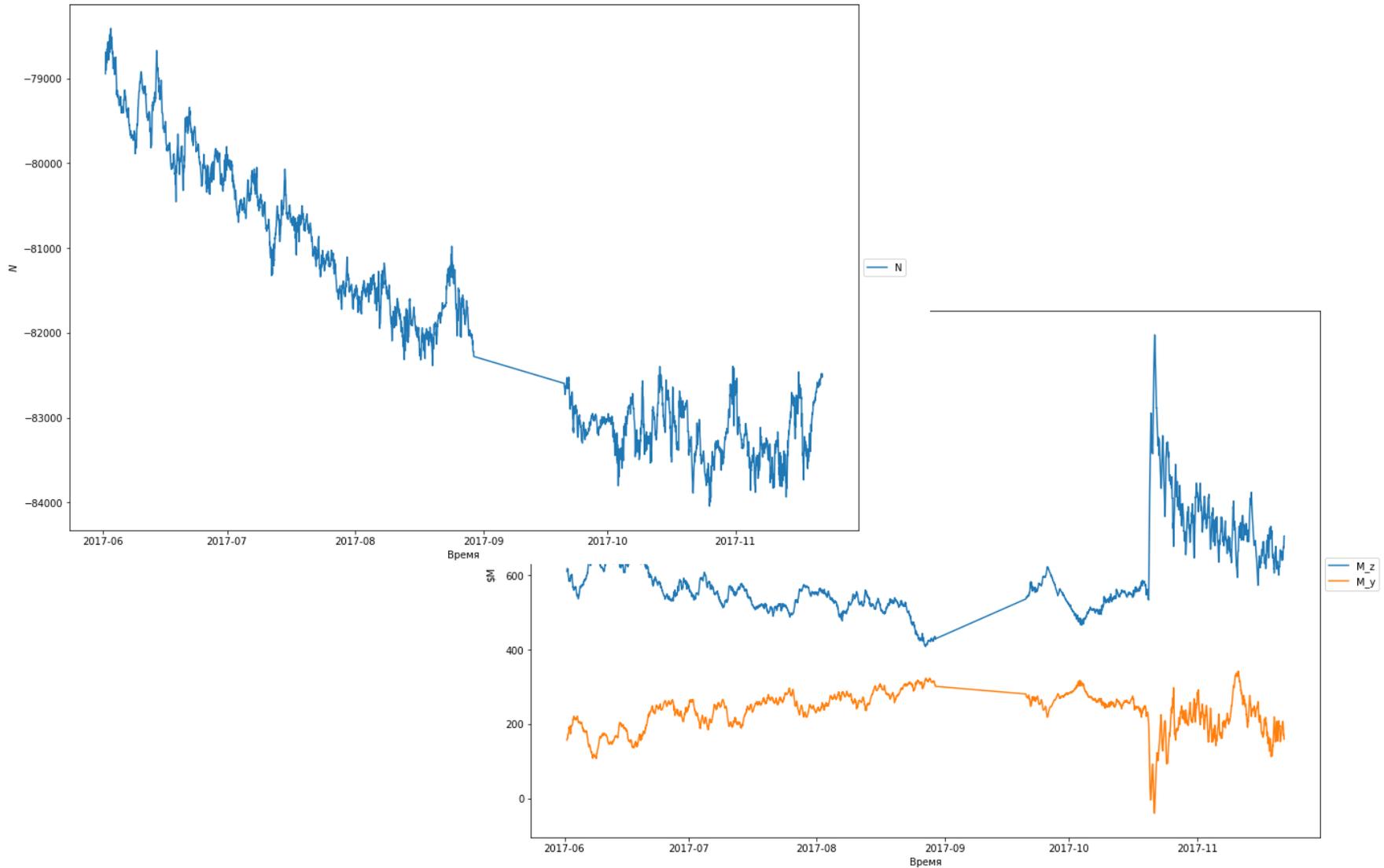
$$EI_y = 15899011.02$$

$$EI_z = 16392515.96$$

# 1. Анализ данных с датчиков

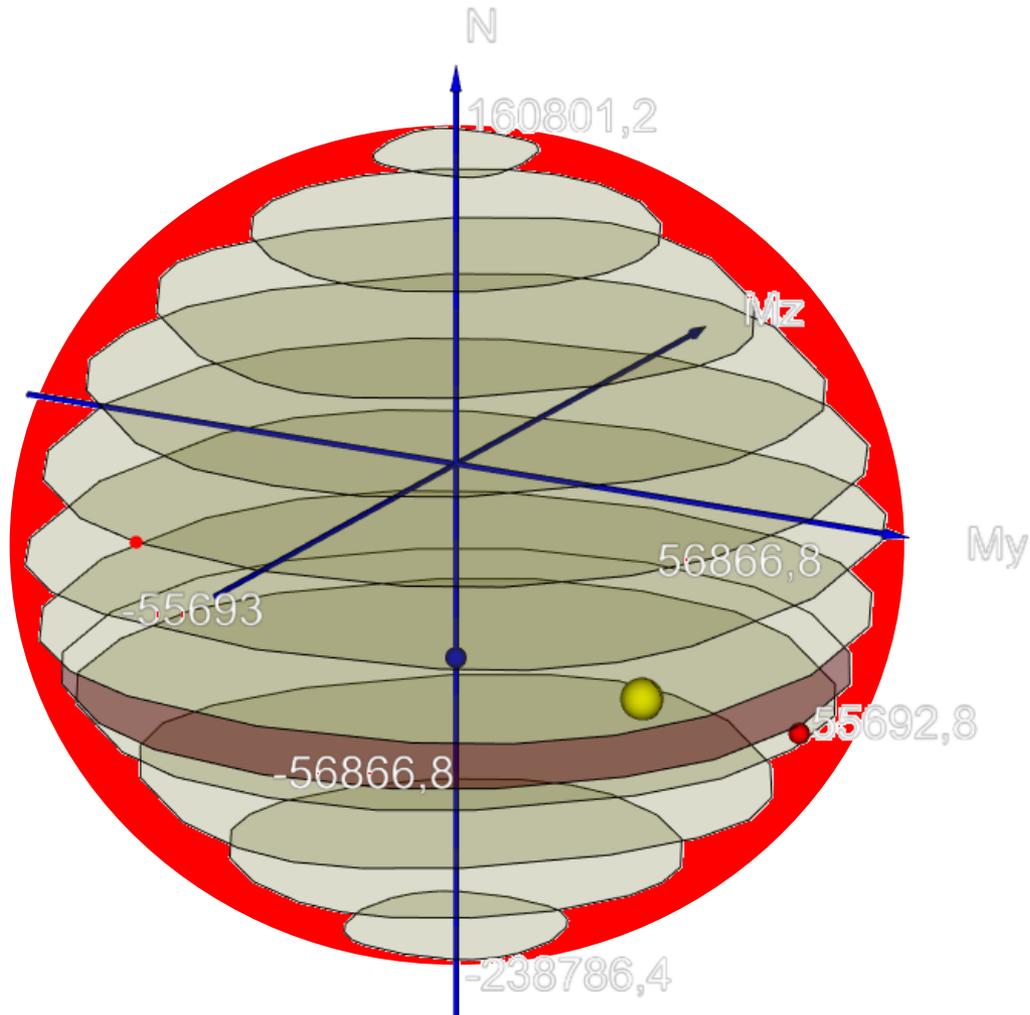
## 1.3. Определение усилий в сечении, построение тренда усилий

Продольные силы, кН



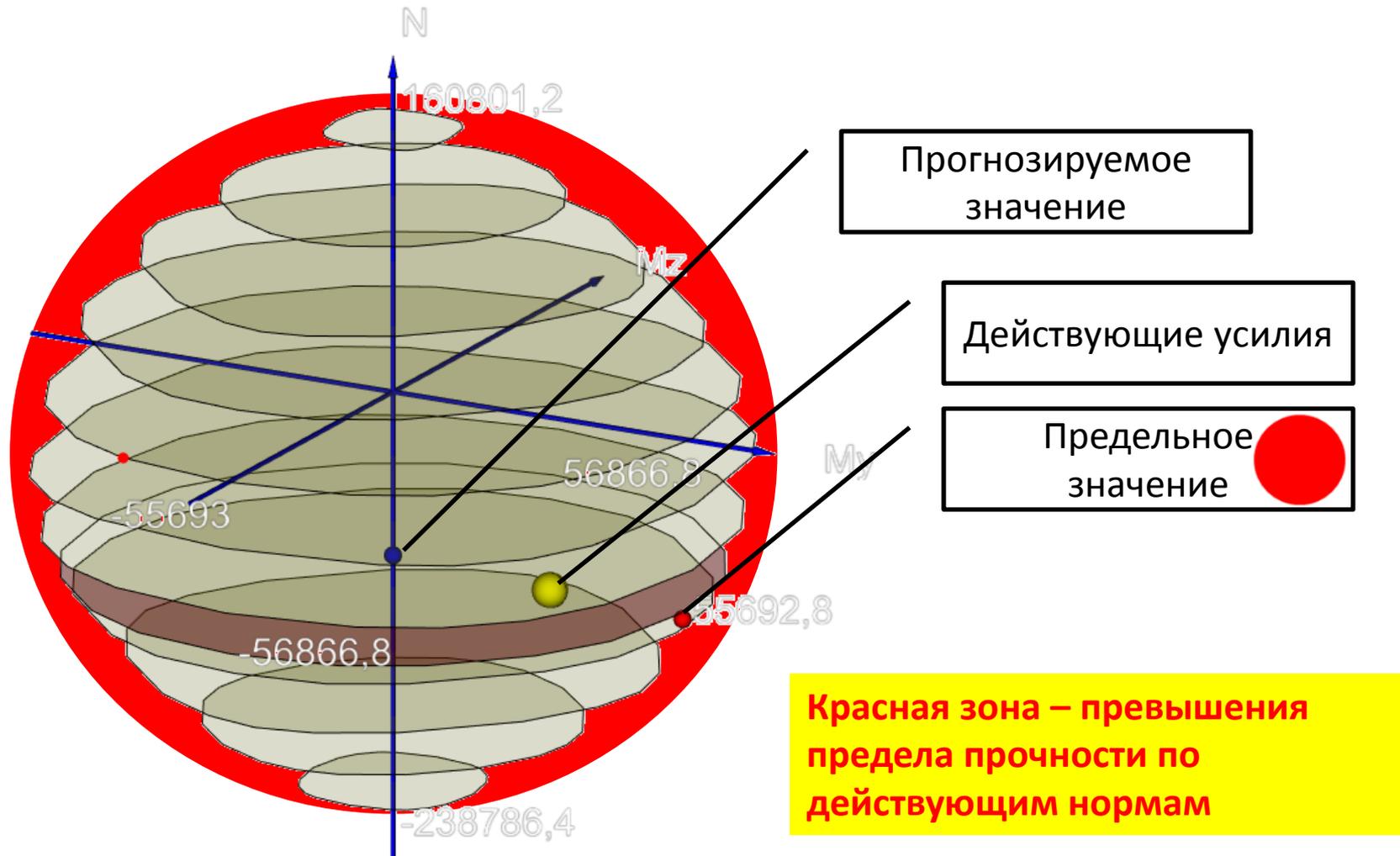
# 1. Анализ данных с датчиков

1.4. Определение предельно допустимых значений в сечении по нелинейной деформационной модели



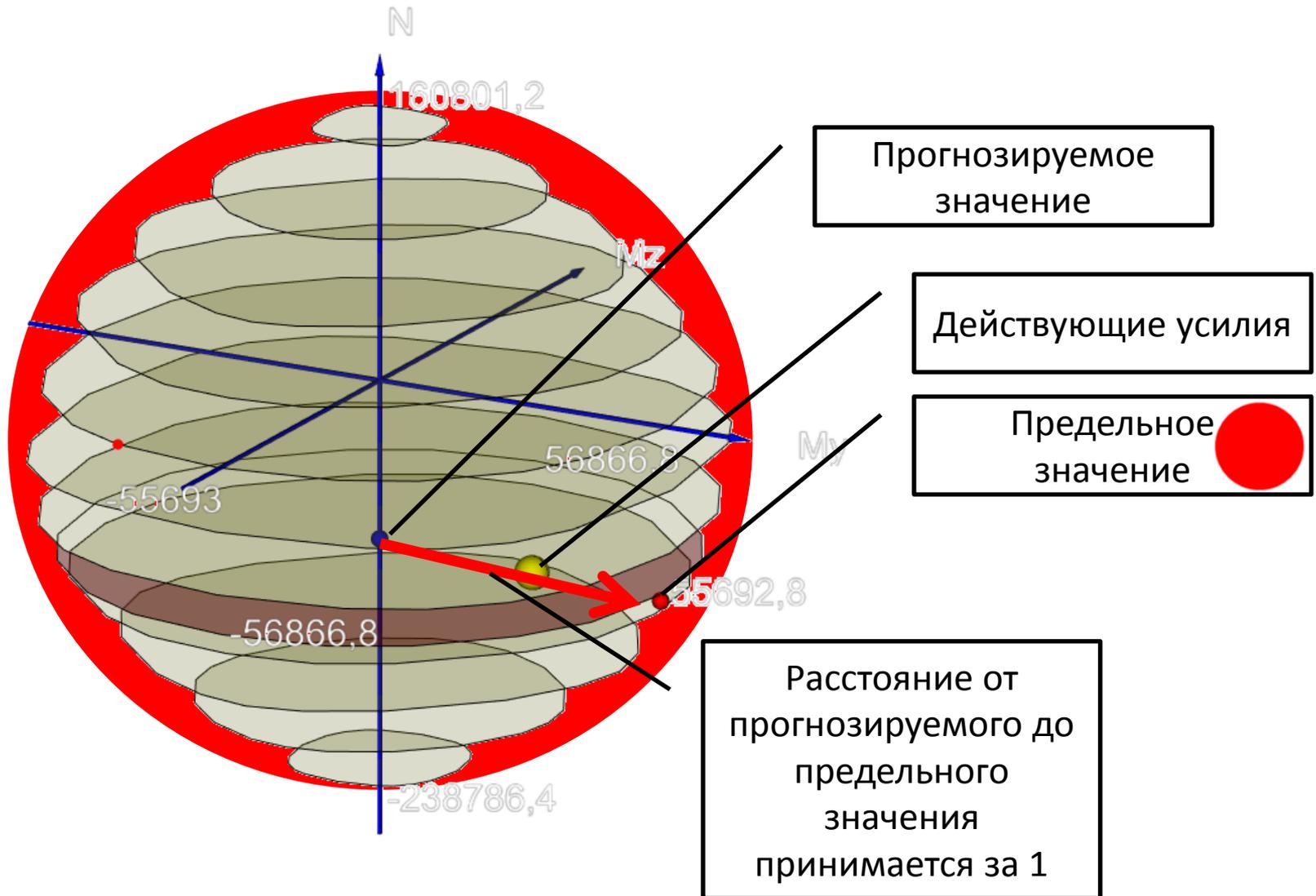
# 1. Анализ данных с датчиков

## 1.4. Определение предельно допустимых значений в сечении по нелинейной деформационной модели



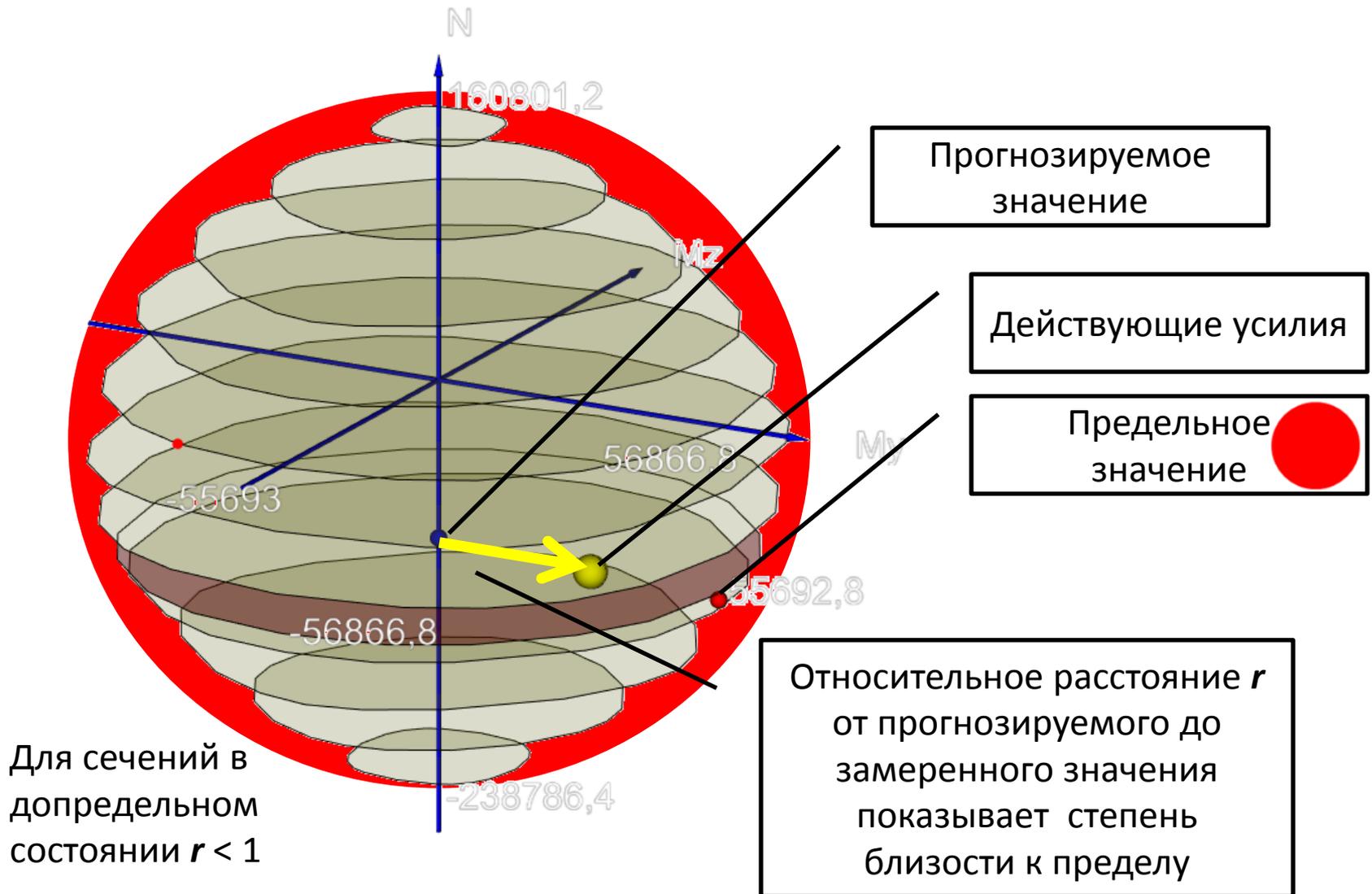
# 1. Анализ данных с датчиков

## 1.4. Определение предельно допустимых значений в сечении по нелинейной деформационной модели



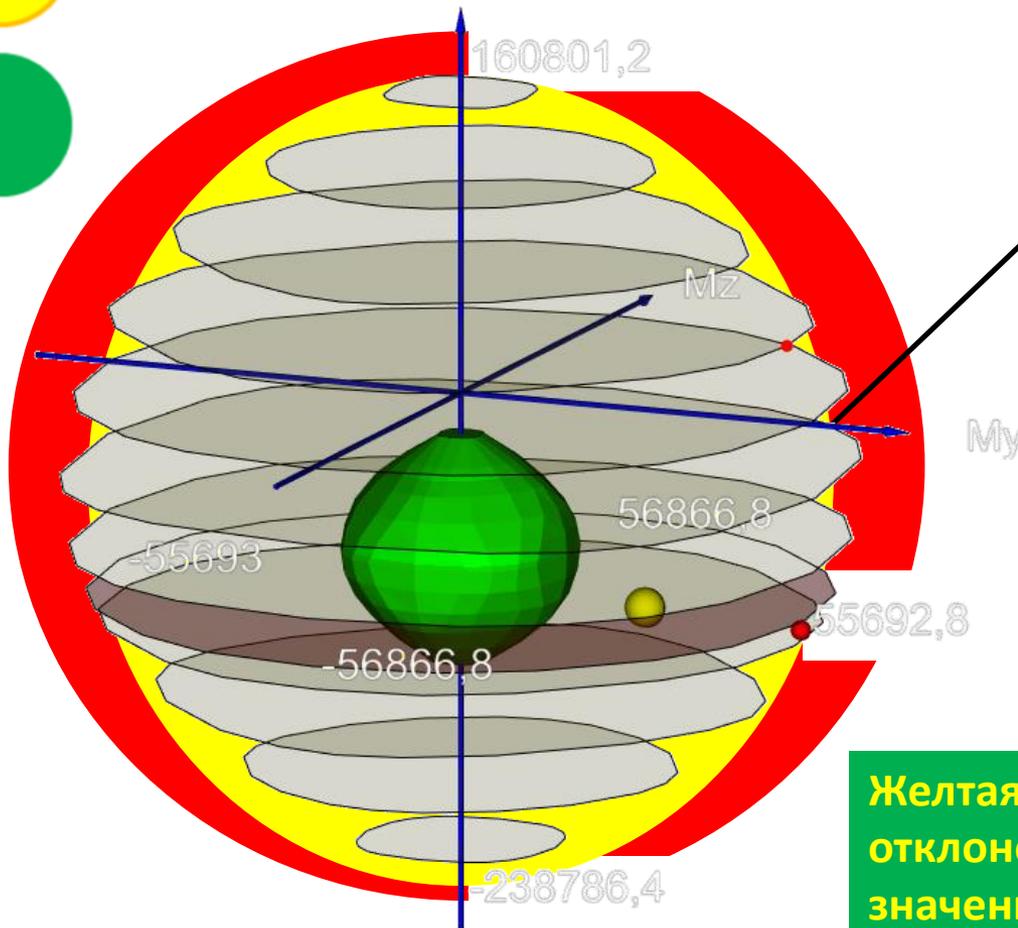
# 1. Анализ данных с датчиков

## 1.4. Определение предельно допустимых значений в сечении по нелинейной деформационной модели



# 1. Анализ данных с датчиков

1.4. Определение области, в которой допустимо колебание показаний датчиков вокруг прогнозируемого значения и области, в которой выдается сигнал тревоги



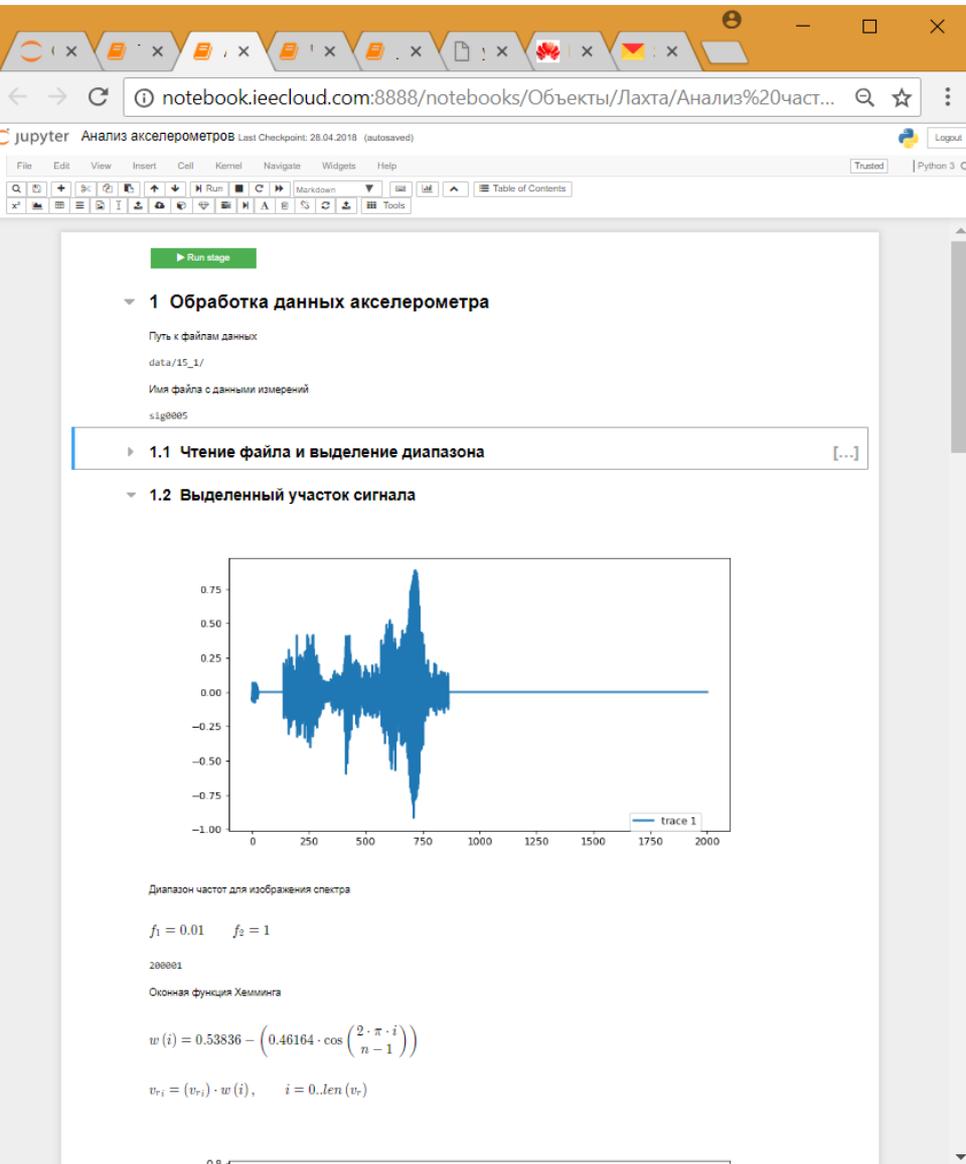
Если действующие усилия за пределами «зеленой» зоны, – действует сигнал тревоги, необходимо определение причин отклонения и корректировка прогноза

**Желтая зона – существенное отклонение от прогнозируемых значений**



# 1. Анализ данных с датчиков

## 1.5. Анализ данных с акселерометров



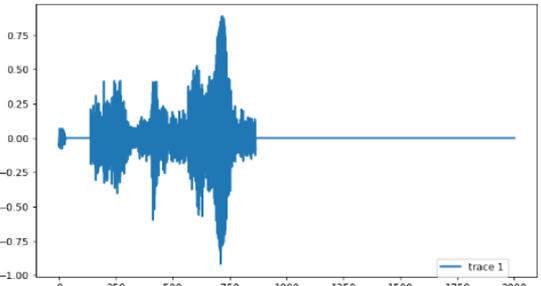
Run stage

1. Обработка данных акселерометра

Путь к файлу данных  
data/15\_1/  
Имя файла с данными измерений  
slg0005

1.1 Чтение файла и выделение диапазона

1.2 Выделенный участок сигнала

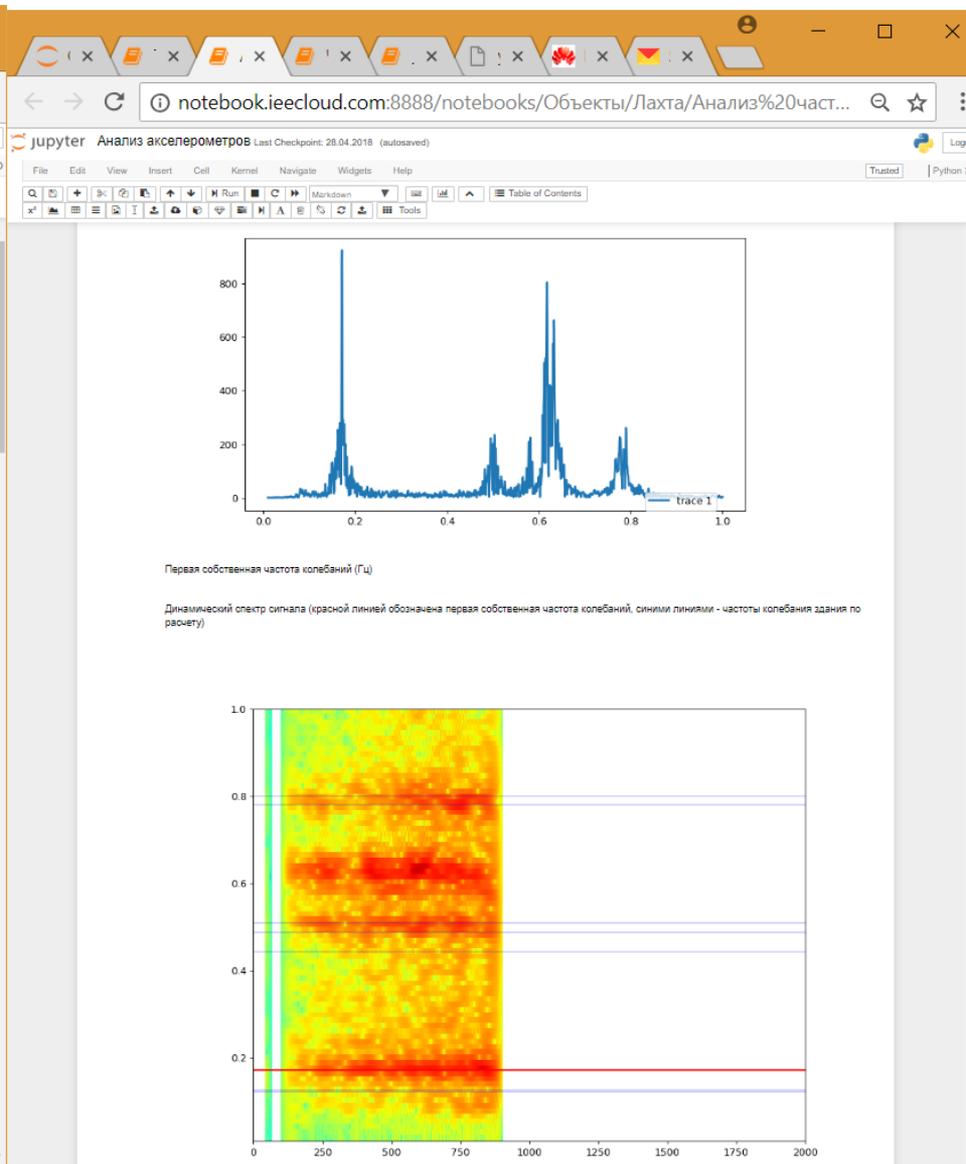


Диапазон частот для изображения спектра

$$f_1 = 0.01 \quad f_2 = 1$$

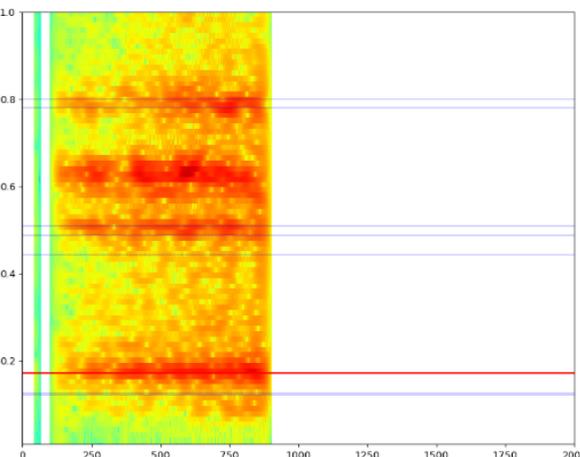
200001

Оконная функция Хемминга

$$w(i) = 0.53836 - \left(0.46164 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot i}{n - 1}\right)\right)$$
$$v_i = (v_{r_i}) \cdot w(i), \quad i = 0..len(v_r)$$


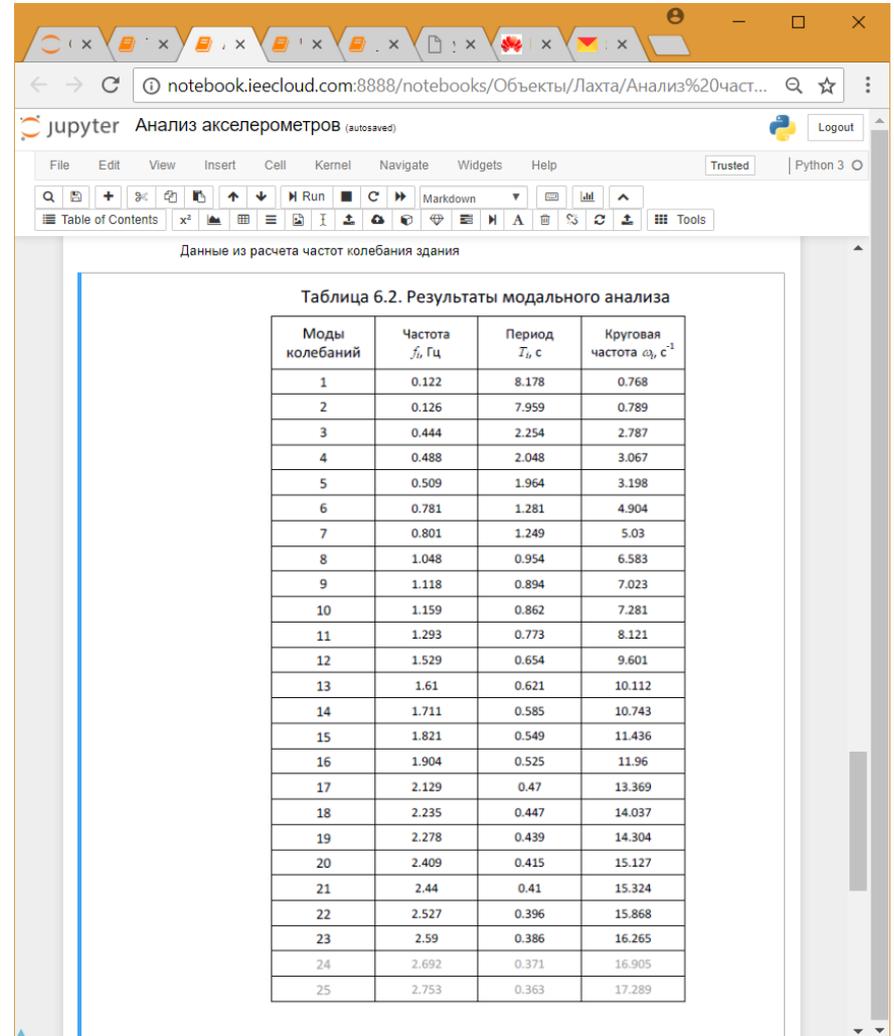
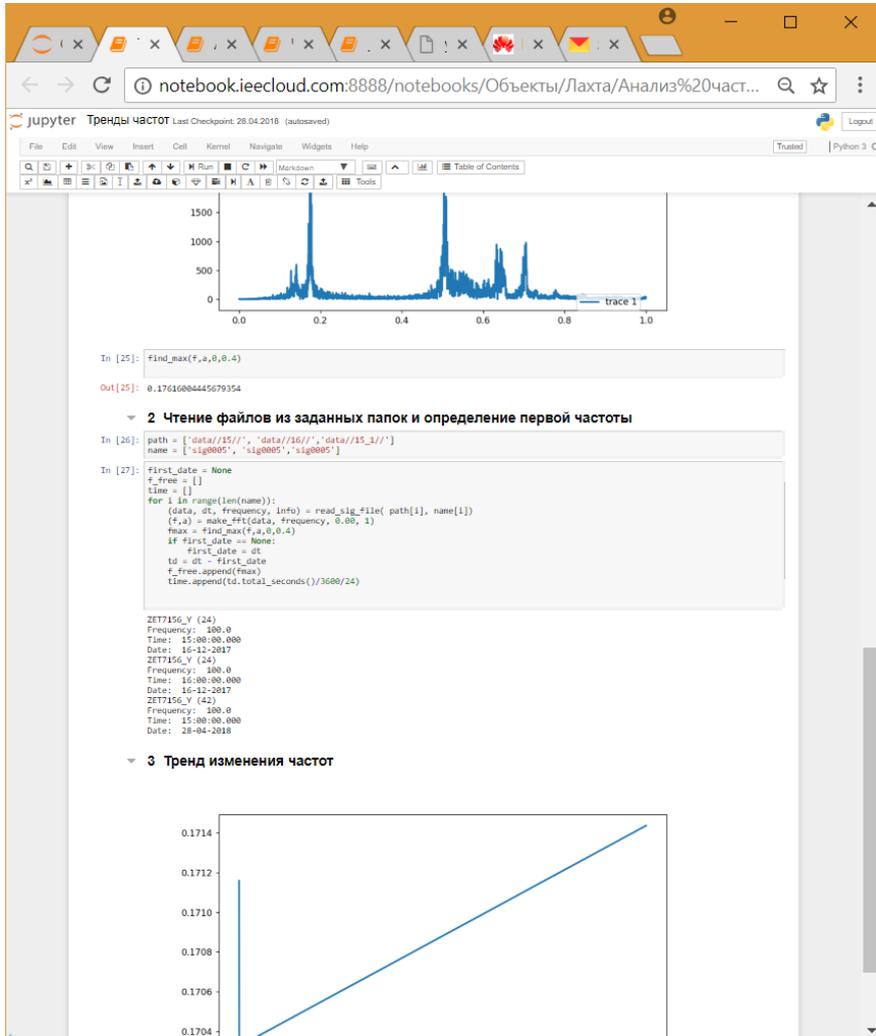
Первая собственная частота колебаний (Гц)

Динамический спектр сигнала (красной линией обозначена первая собственная частота колебаний, синими линиями - частоты колебания здания по расчету)



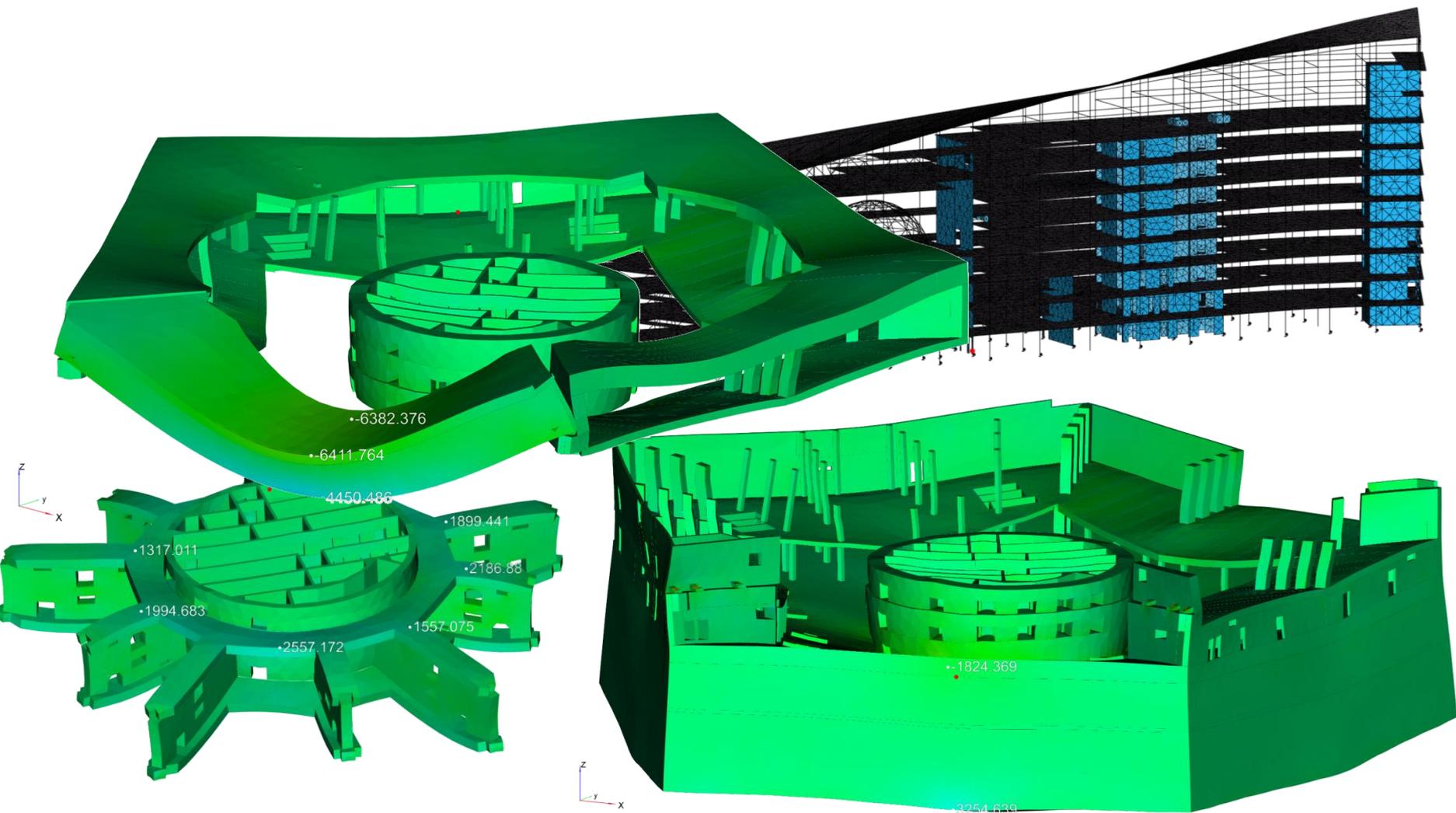
# 1. Анализ данных с датчиков

## 1.5. Анализ данных с акселерометров



Построение тренда изменения частот и сравнение с результатами расчета

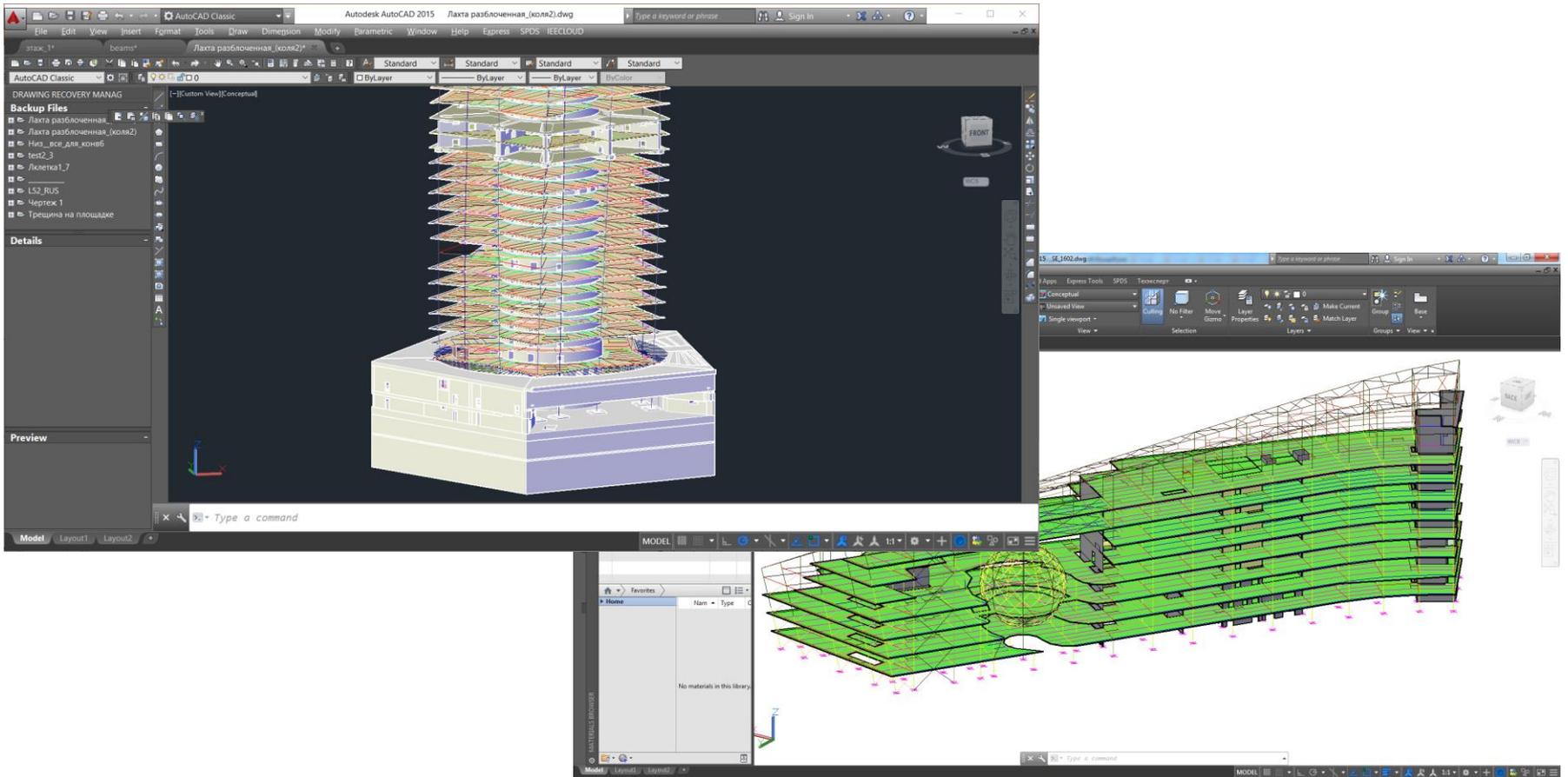
## 2. Интерактивная расчетная модель



Модель встроена в программное обеспечение мониторинга. Соответственно, в системе всегда присутствует действующая (т.е. пригодная к перерасчету) модель. Нет проблемы потери информации о параметрах объекта

## 2. Интерактивная расчетная модель

### 2.1. Интерактивная геометрическая модель на базе BIM-модели

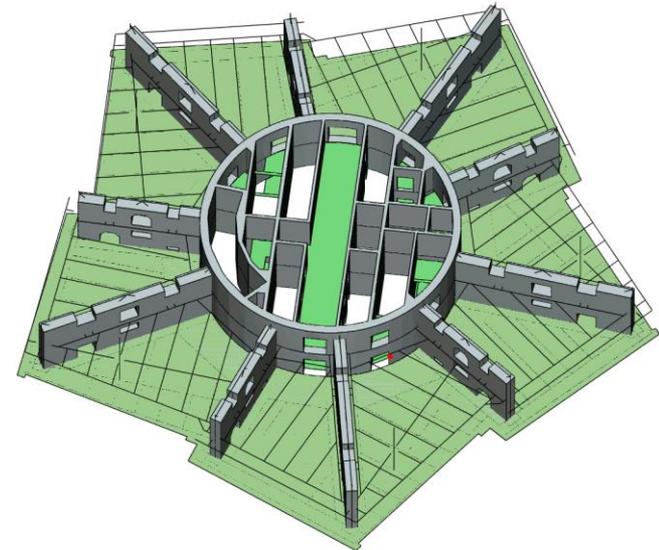
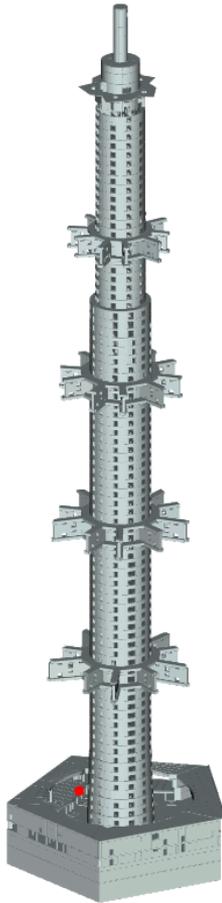


Модель содержит информацию о геометрии и материалах (класс бетона, толщины перекрытий, сечения балок и т.п.). Геометрия может быть откорректирована и снова запущена на расчет. В модели исправлены все ошибки и неточности исходной BIM-модели

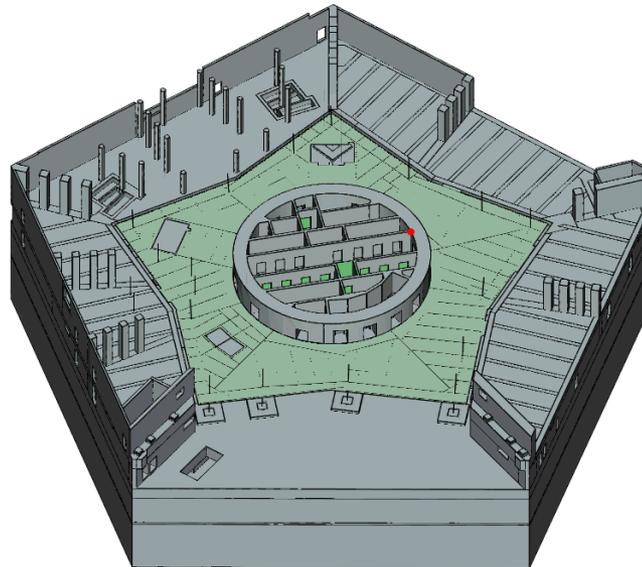
## 2. Интерактивная расчетная модель

### 2.2. Расчетная модель в программе FEM models (IEEcloud)

Массивные элементы (стены ядра, плита ростверка, подземная часть) моделируются объемными элементами, а не приводятся к пластинчатым

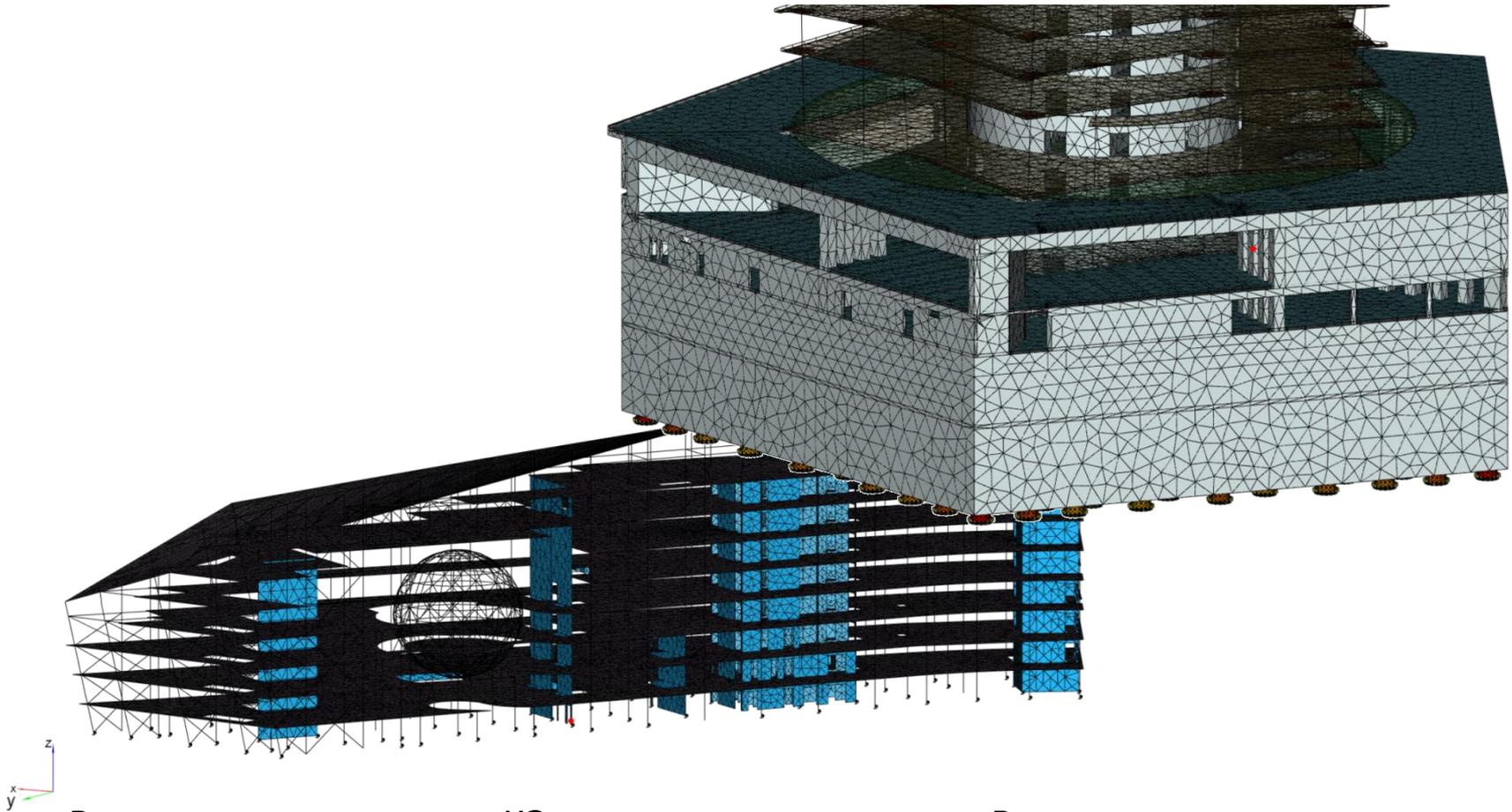


x = 54.02518254359789, y = 8.885715732556159, z



## 2. Интерактивная расчетная модель

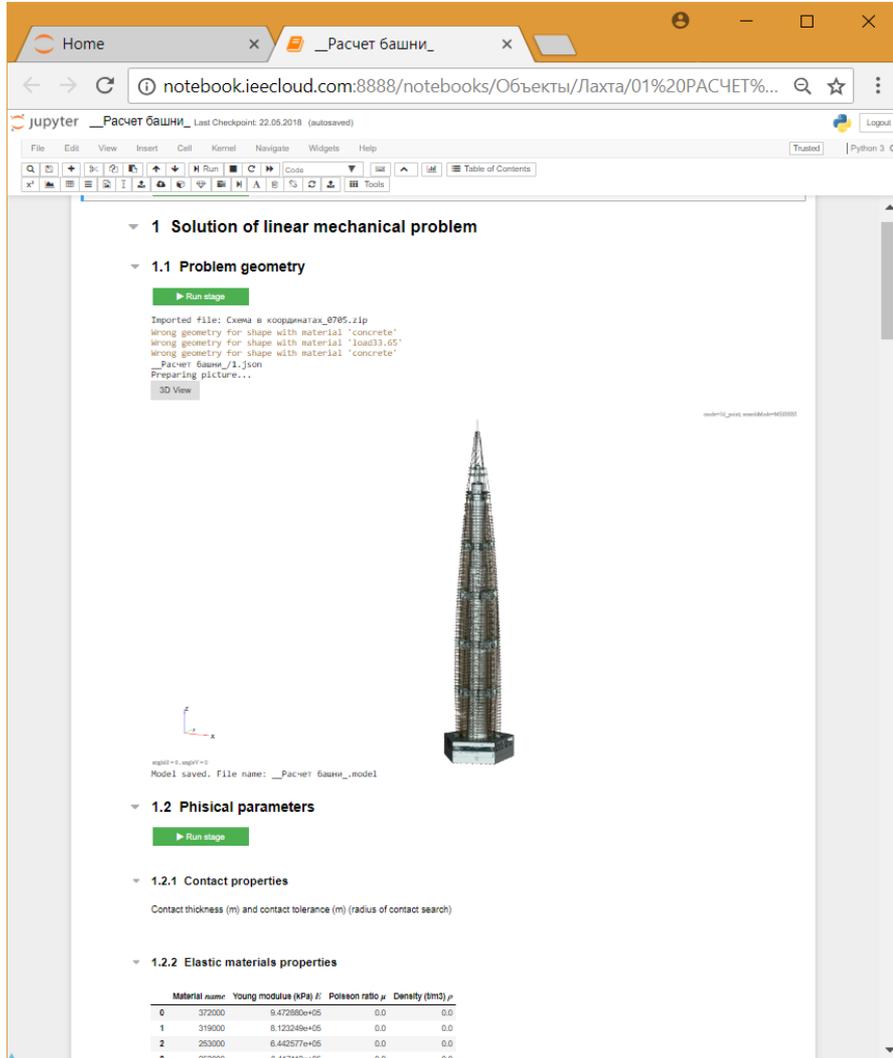
### 2.3. Автоматическая генерация конечно-элементных сеток для всей модели



Возможность сгущения КЭ сеток в нужных местах. Возможность выделения и отдельного расчета фрагмента схемы

# 2. Интерактивная расчетная модель

## 2.4. Назначение параметров материалов



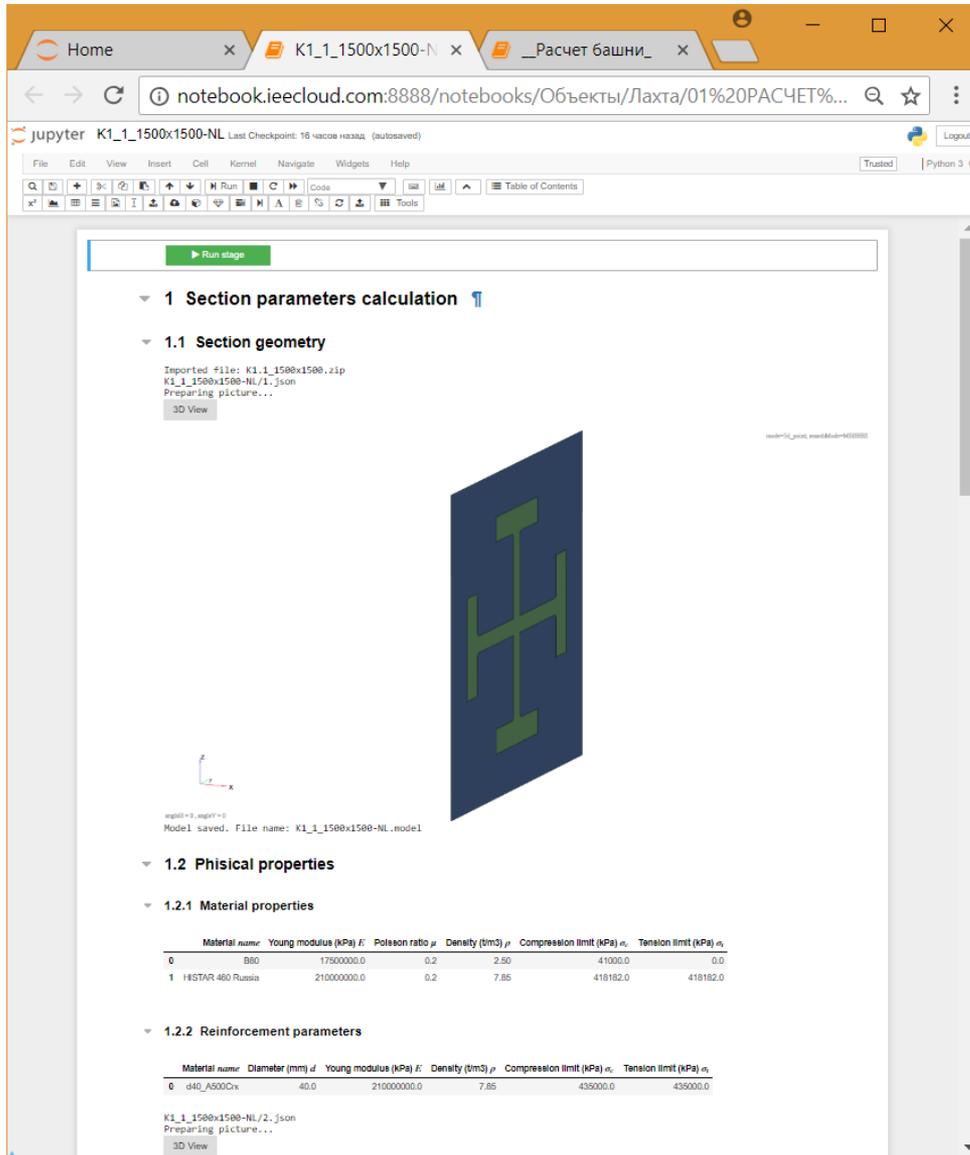
### 1.2.3 Plates properties

	Material name	Young modulus (kPa) $E$	Poisson ratio $\mu$	Thickness (m) $h$	Vertical load (kPa) $q$
0	plates200_core	12200000.0	0.2	0.2	17.7
1	plates200_office	12200000.0	0.2	0.2	10.3
2	plates_columns	42000000.0	0.2	1.0	0.0
3	plates200_substr	12200000.0	0.2	0.2	17.7
4	plates200_tech	12200000.0	0.2	0.2	17.7
5	plates1500_office	12200000.0	0.2	1.5	42.8
6	plates400_office	12200000.0	0.2	0.4	15.3
7	plates500_substr	12200000.0	0.2	0.5	25.3
8	plates600_substr	12200000.0	0.2	0.6	27.7

Все назначения параметров делаются в одном расчетном ноутбуке. Можно исправить любой параметр и перезапустить расчет. Ведется контроль объектов без назначенных параметров

## 2. Интерактивная расчетная модель

### 2.5. Назначение параметров сечений балок и колонн



The screenshot displays a Jupyter Notebook interface with the following content:

- 1 Section parameters calculation**
  - 1.1 Section geometry**
    - Imported file: K1\_1\_1500x1500.zip
    - K1\_1\_1500x1500-NL/.json
    - Preparing picture...
    - 3D View
    - 
    - Model saved. File name: K1\_1\_1500x1500-NL.model
  - 1.2 Physical properties**
    - 1.2.1 Material properties**

Material name	Young modulus (kPa) $E$	Poisson ratio $\nu$	Density (tm <sup>3</sup> ) $\rho$	Compression limit (kPa) $\sigma_c$	Tension limit (kPa) $\sigma_t$
0 B80	17500000.0	0.2	2.50	41000.0	0.0
1 HSTAR 460 Russia	210000000.0	0.2	7.85	418182.0	418182.0
    - 1.2.2 Reinforcement parameters**

Material name	Diameter (mm) $d$	Young modulus (kPa) $E$	Density (tm <sup>3</sup> ) $\rho$	Compression limit (kPa) $\sigma_c$	Tension limit (kPa) $\sigma_t$
0 d40_A500Crk	40.0	210000000.0	7.85	435000.0	435000.0

Для каждой балки или колонны имеется геометрическое изображение с назначенными материалами. По ним вычисляются геометрические характеристики

# 2. Интерактивная расчетная модель

## 2.5. Назначение параметров сечений балок и колонн

The screenshot shows a Jupyter Notebook environment with a 3D model of a tower structure. The notebook is titled 'K1\_1\_1500x1500-NL' and contains several sections:

- 1.3 Calculation**: A 3D view of the tower structure is displayed.
- 1.4 Section parameters**:
  - $EA = 113739320.00$     $GI_x = 8072881.74$     $EI_y = 15899011.02$     $EI_z = 16392515.96$
  - $GA = 44312622.53$     $q = 77.63$
- 1.5 Geometry parameters (divided by first Young modulus)**:
  - $A_{r,red} = \frac{EA}{E_0} = 6.49938971$     $I_{x,red} = \frac{GI_x \cdot 2 \cdot (1 + \mu_0)}{E_0} = 1.10713807$
  - $I_{y,red} = \frac{EI_y}{E_0} = 0.90851492$     $I_{z,red} = \frac{EI_z}{E_0} = 0.93671520$
- 1.6 Checking section forces**: A 'Run stage' button is visible.

Жесткости сечений определяются автоматически. В расчетном ноутбуке автоматически определяются рассчитанные сечения и составляется таблица жесткостей сечений

### 1.2.5 Beams drawings

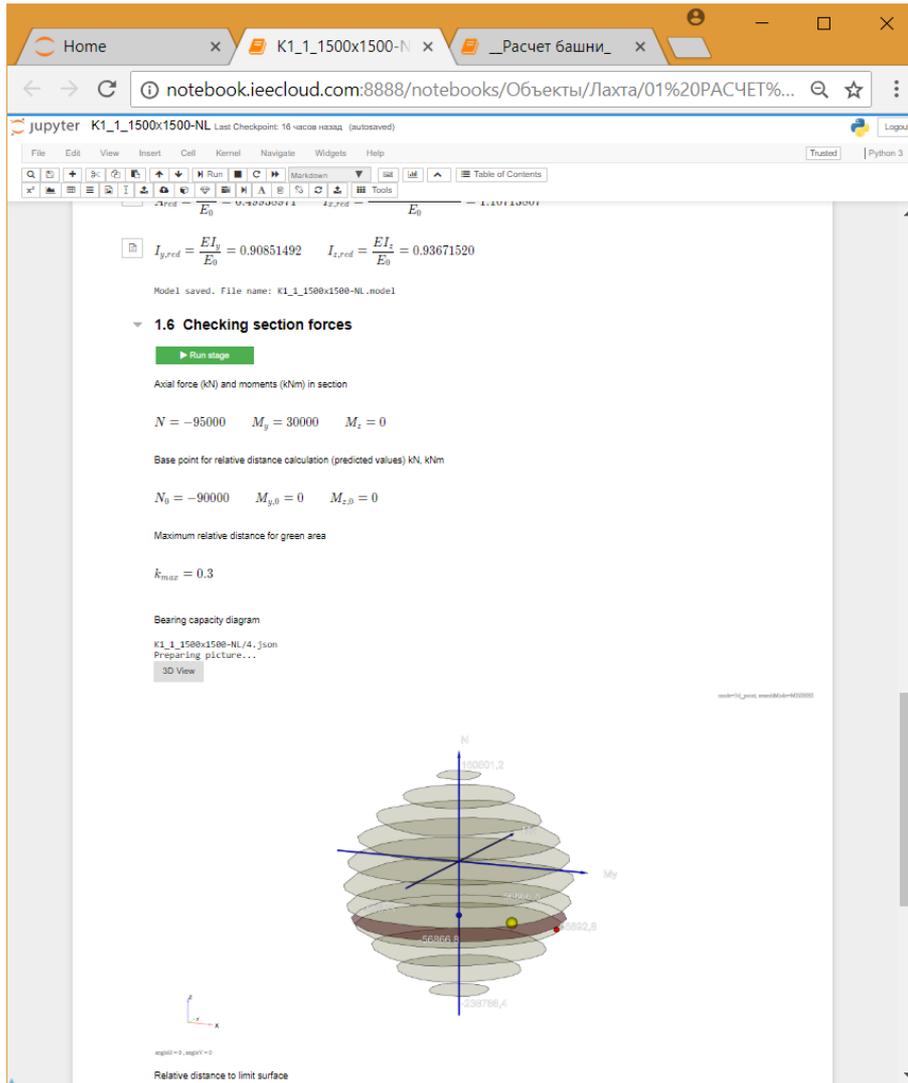
Directory name. Sections with same names as in model should be located in specified directory. For creating section drawing use special template

сечения/

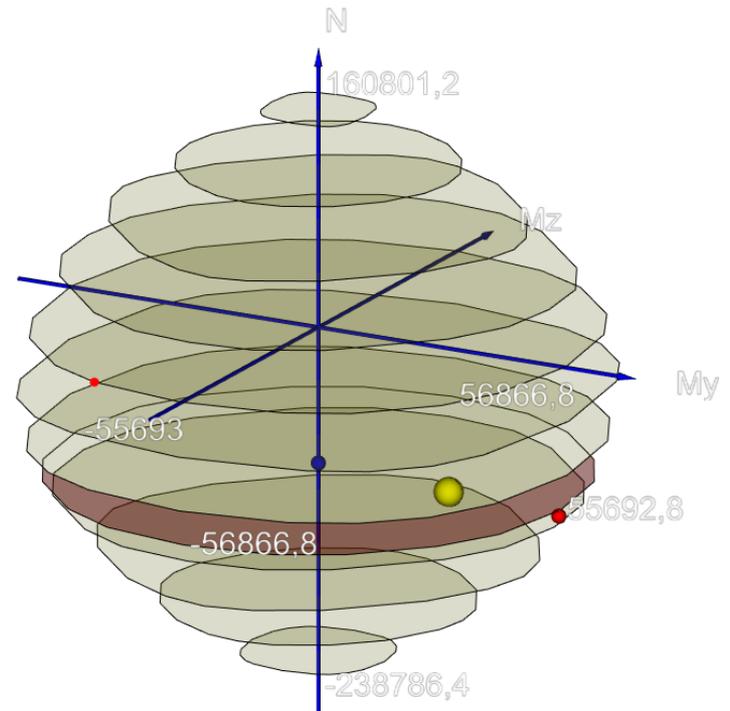
	Section name	EA	GI <sub>x</sub>	EI <sub>y</sub>	EI <sub>z</sub>	GA	Vertical load (kN/m) q
0	B1	1.09200e+07	5.210808e+05	1.962699e+06	1.216240e+05	4.550000e+06	4.286100
1	B10	3.632000e+06	4.658544e+04	1.758903e+05	1.045148e+04	1.513333e+06	1.425560
2	B100	2.531200e+06	2.717030e+04	1.029888e+05	5.692412e+03	1.054667e+06	0.993496
3	B101	1.886400e+06	1.481387e+04	5.691043e+04	2.345089e+03	7.860000e+05	0.740412
4	B102	2.822400e+06	6.142954e+04	2.424958e+05	3.222349e+03	1.176000e+06	1.107792
5	B103	1.396000e+07	6.835316e+05	2.525633e+06	2.084931e+05	5.816667e+06	5.479300
6	B105	4.219200e+06	1.275056e+05	5.006080e+05	9.414514e+03	1.758000e+06	1.656036
7	B106	6.843200e+06	2.629944e+05	9.922055e+05	5.977193e+04	2.851333e+06	2.685956
8	B107	2.102400e+06	2.048746e+04	7.873612e+04	3.213709e+03	8.760000e+05	0.825192
9	B108	3.176800e+06	3.971383e+04	1.529653e+05	5.890037e+03	1.323667e+06	1.246894
10	B109	1.218000e+07	6.057182e+05	2.316038e+06	1.068353e+05	5.075000e+06	4.780650
11	B11	1.961600e+06	2.302292e+04	8.583762e+04	6.254062e+03	8.173333e+05	0.769928
12	B110	2.581600e+06	2.935173e+04	1.136497e+05	3.757206e+03	1.075667e+06	1.013278

## 2. Интерактивная расчетная модель

### 2.5. Назначение параметров сечений балок и колонн

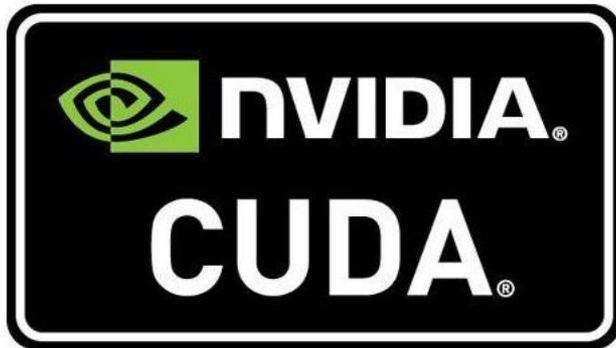


В том же ноутбуке для сечения составляется диаграмма несущей способности и предоставляется возможность проверить прочность сечения



## 2. Интерактивная расчетная модель

### 2.6. Запуск на расчет на расчетном сервере

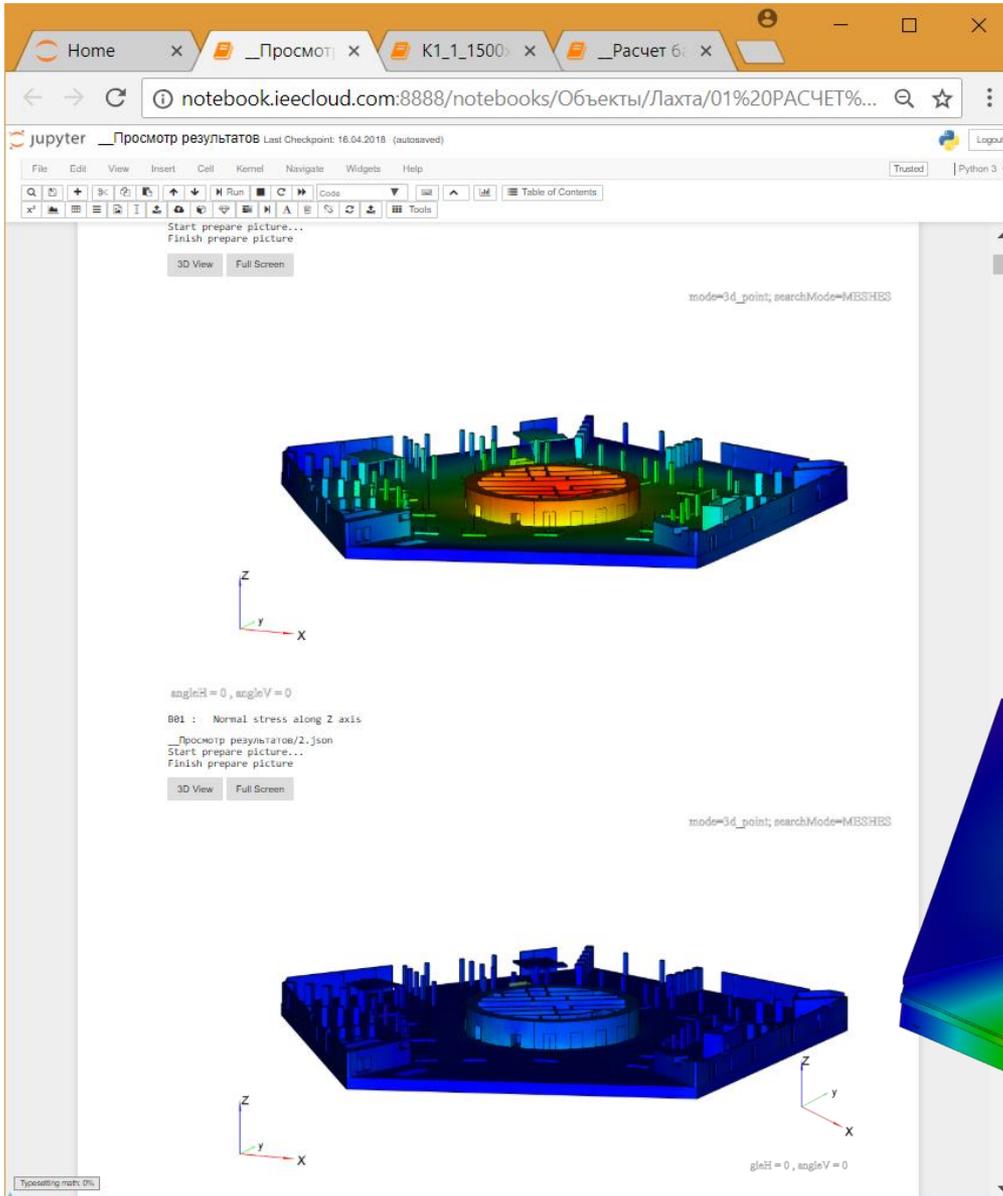


Решение ускорено с помощью современной технологии вычисления на графическом процессоре (CUDA)

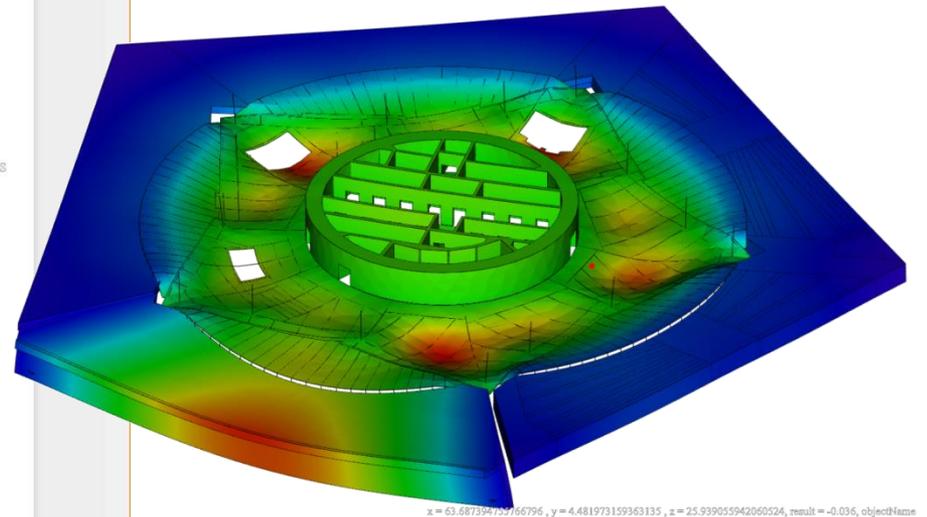


## 2. Интерактивная расчетная модель

### 2.7. Автоматическая генерация отчета по результатам расчета по шаблону



Автоматически выводятся выбранные результаты по этажам расчетной схемы. Все изображения трехмерные их можно рассмотреть, подписать результаты в интересующих точках.

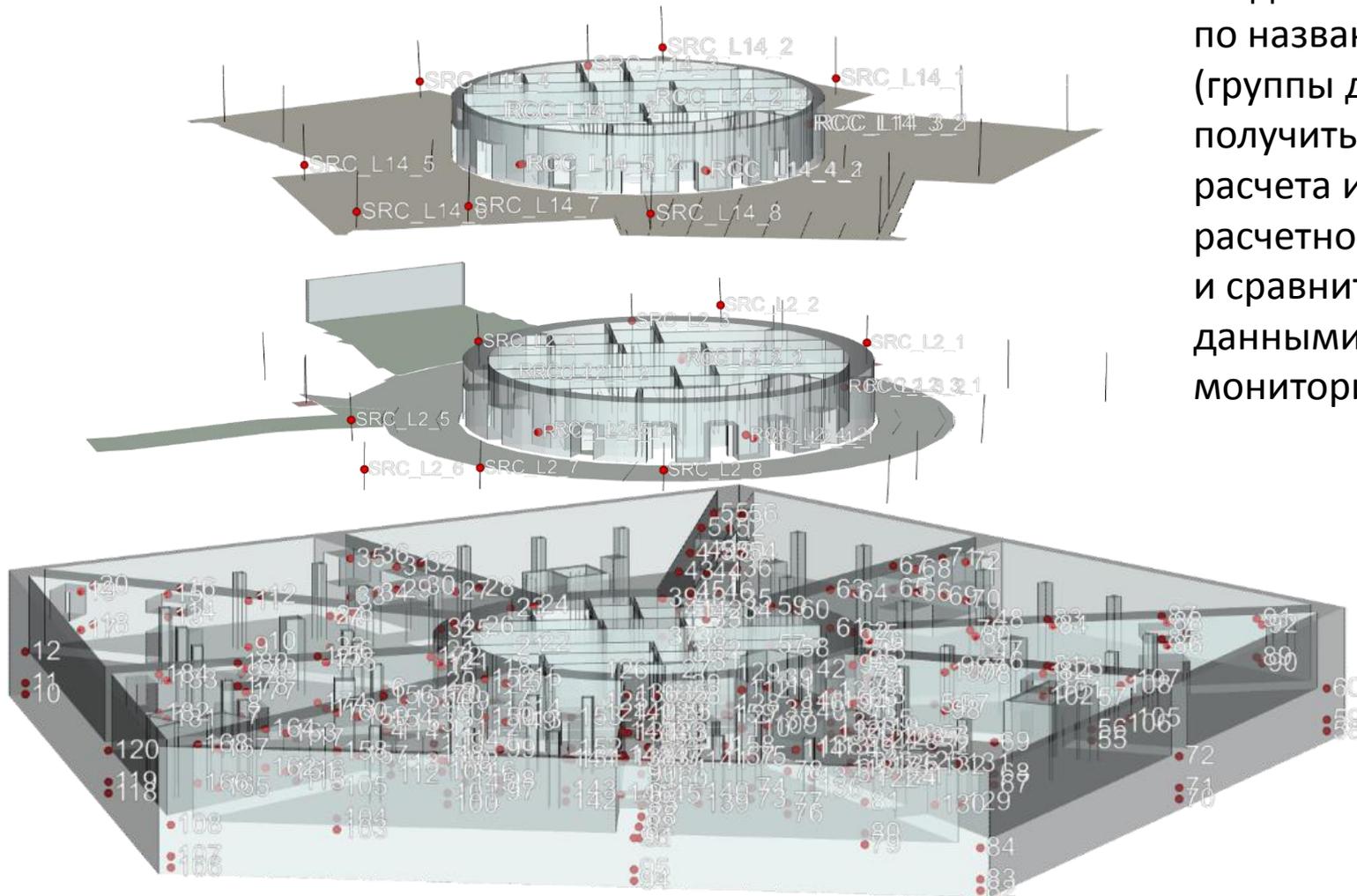


x = 63.681394737166796, y = 4.481973159363135, z = 25.939055942060524, result = -0.036, objectName

# 3. Сравнение результатов расчета с данными мониторинга

## 3.1. Модель размещения измерительного оборудования на трехмерной расчетной схеме

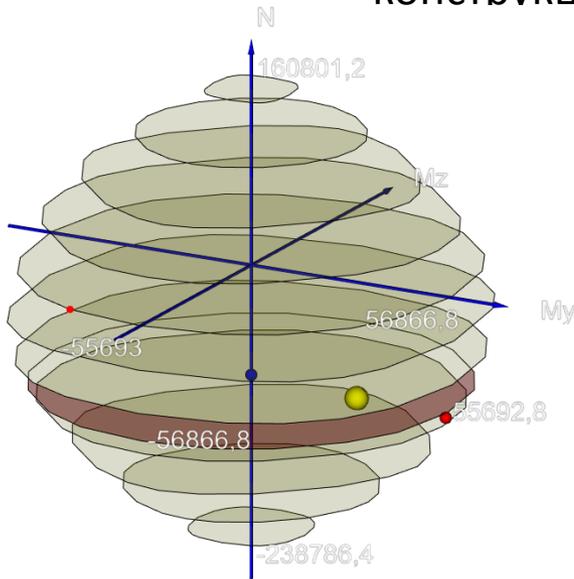
Модель позволяет по названию створа (группы датчиков) получить результаты расчета из расчетной модели и сравнить с данными мониторинга



## 4. Принятие управленческих решений

### 4.1. Возможные действия при попадании показаний в «желтую» зону

1. Обследование конструкции и условий нагружения.
2. Анализ возможных причин несоответствия прогнозу.
3. Изменение параметров расчетной схемы (нагрузок, жесткости и прочности материалов, геометрии и т.п.).  
Запуск схемы на перерасчет.
4. Изменение границ «желтой» зоны.
5. Решение о необходимости изменения нагрузок
6. Решение о необходимости усиления элемента  
КОНСТРУКЦИИ

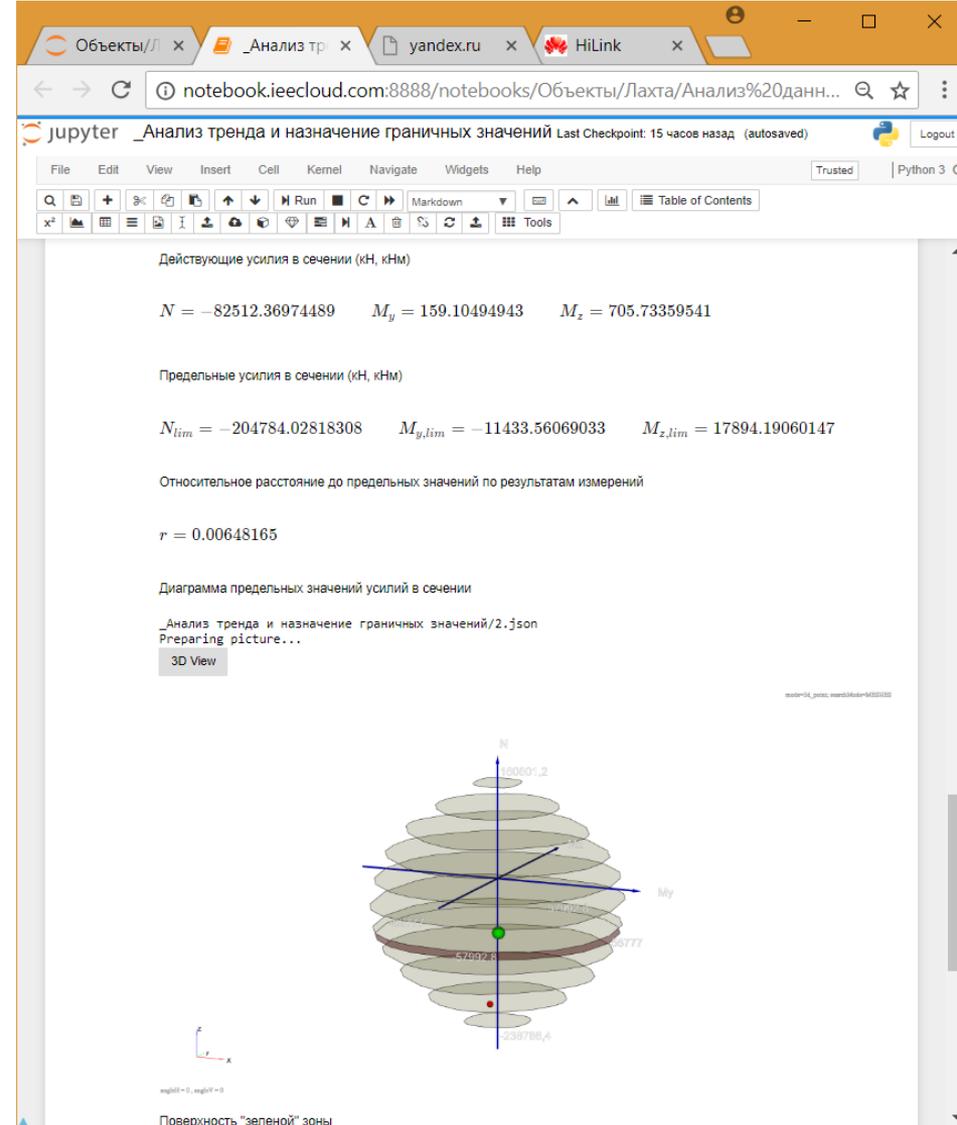
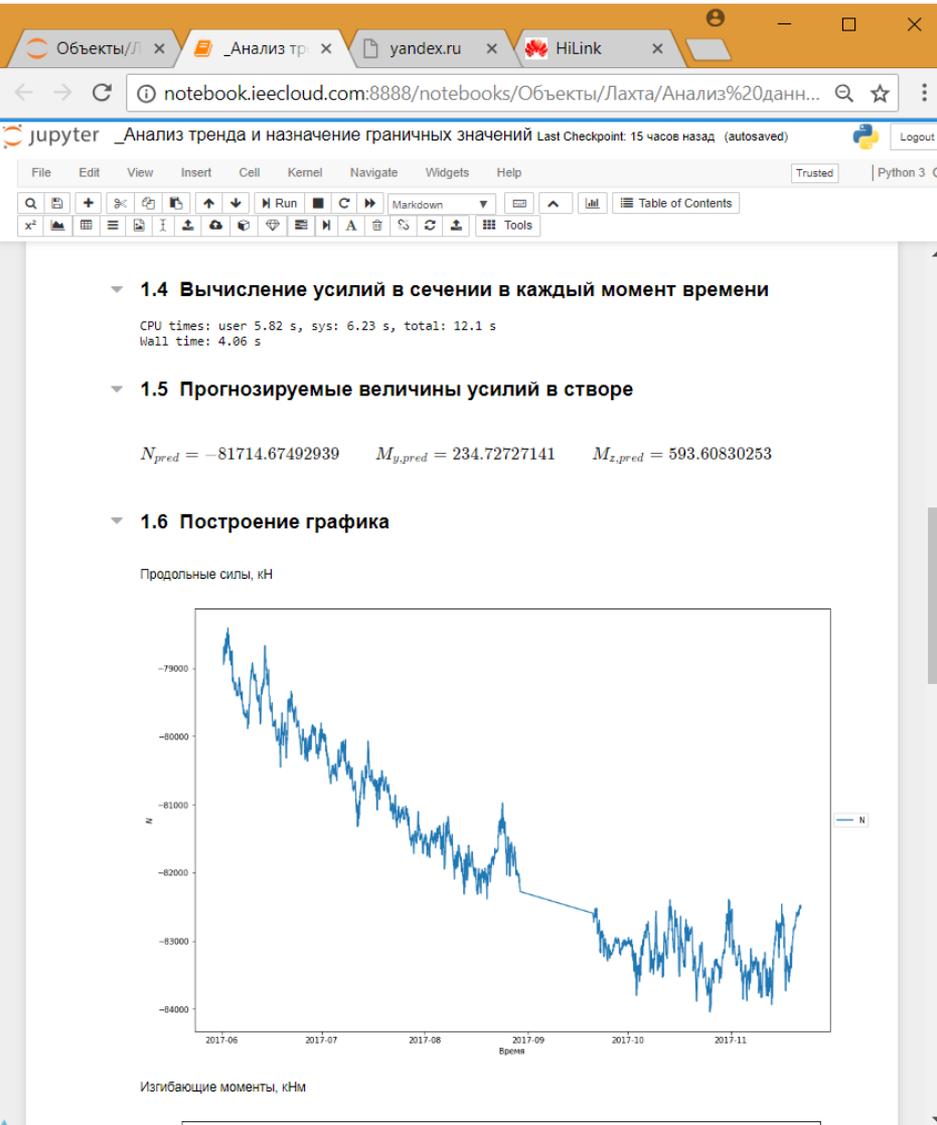


**Желтая зона – существенное отклонение от прогнозируемых значений**



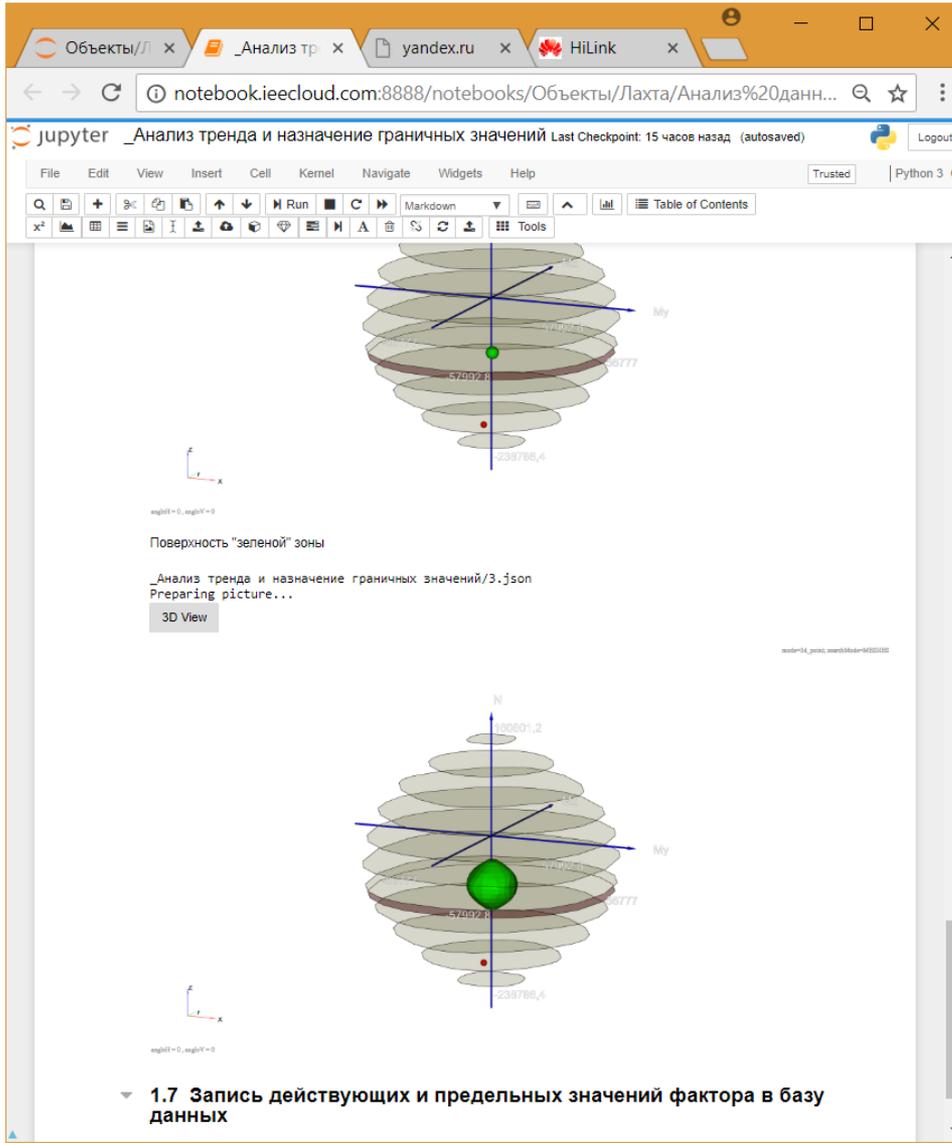
# 4. Принятие управленческих решений

## 4.2. Ноутбук по анализу трендов в сечении и назначению предельных (граничных) значений



# 4. Принятие управленческих решений

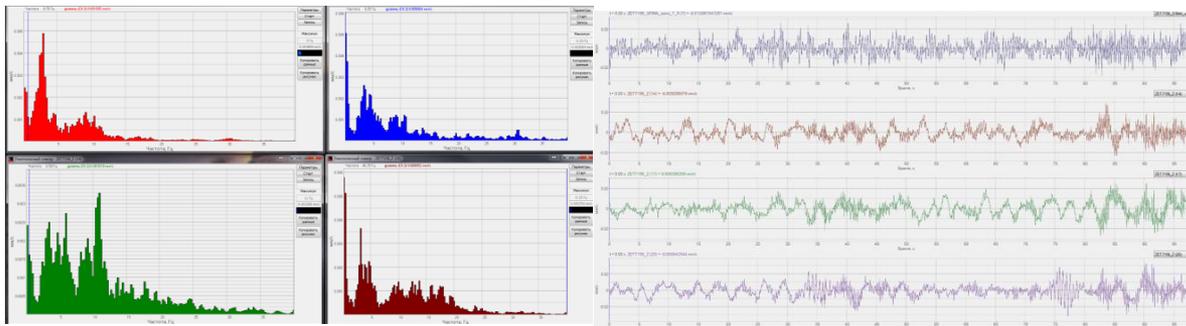
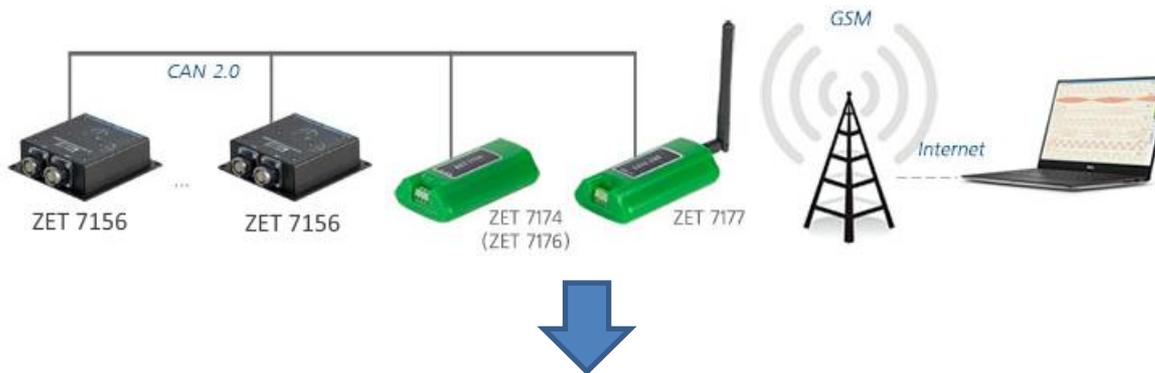
## 4.2. Ноутбук по анализу трендов в сечении и назначению предельных (граничных) значений



По результатам анализа может быть принято решение о необходимости корректировки прогнозируемых параметров (пересчета схемы) или о изменении границы «желтой» и «зеленой» зоны

Если расчетный анализ показывает опасные тенденции для элемента конструкции могут быть приняты управленческие решения по снижению нагрузок, усилению элемента и т.п.

# Схема системы динамического интерактивного мониторинга



Амплитудно-частотные и амплитудно-временные характеристики

# Составляющие



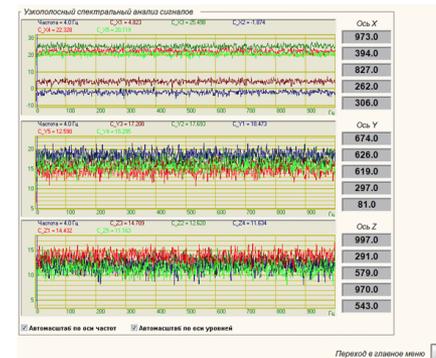
Велосиметр



Преобразователи интерфейса



Видеонаблюдение



Программное обеспечение

# Примеры внедренных систем

## Объект

Жилой дом. Наб. реки Карповка 36

## Задачи

Мониторинг за динамическими параметрами здания в процессе производства строительных работ (погружение свай).

## Результаты

Предотвращение аварийной ситуации при изготовлении свай. Негативное влияние вибрации могло привести к аварийным ситуациям, неравномерным осадкам, появлению трещин.

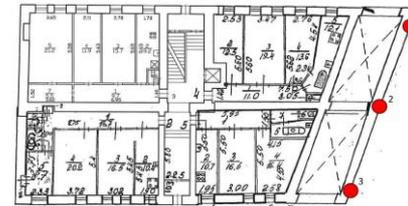
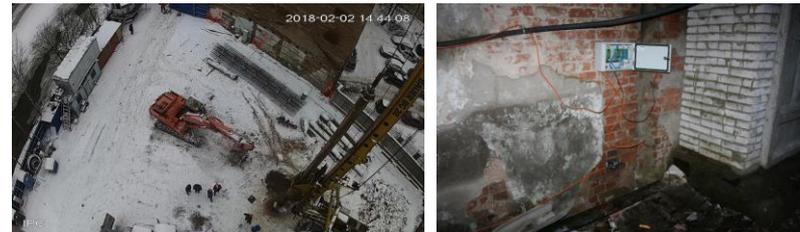
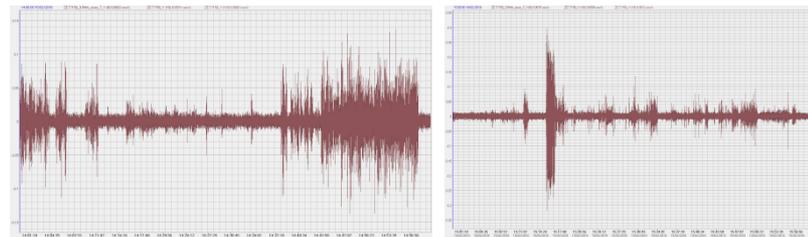


Схема установки датчиков



Монтаж датчиков и преобразователей



Амплитудно-временные характеристики процесса погружения свай

# Примеры внедренных систем

## Объект

Новая Голландия

## Задачи

Мониторинг кирпичных сводов в процессе производства работ по реконструкции.

## Результаты

Выделены основные тона каждого свода. Выделены преобладающие частоты. Отслеживание амплитуды частот основного тона. Корректировка процесса реконструкции.

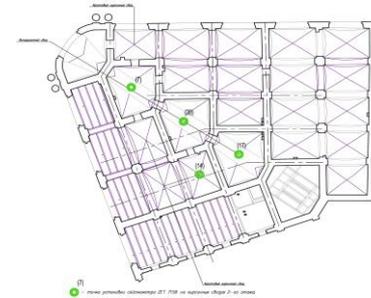
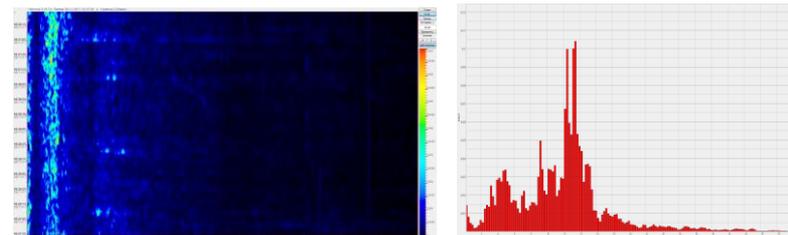


Схема установки датчиков

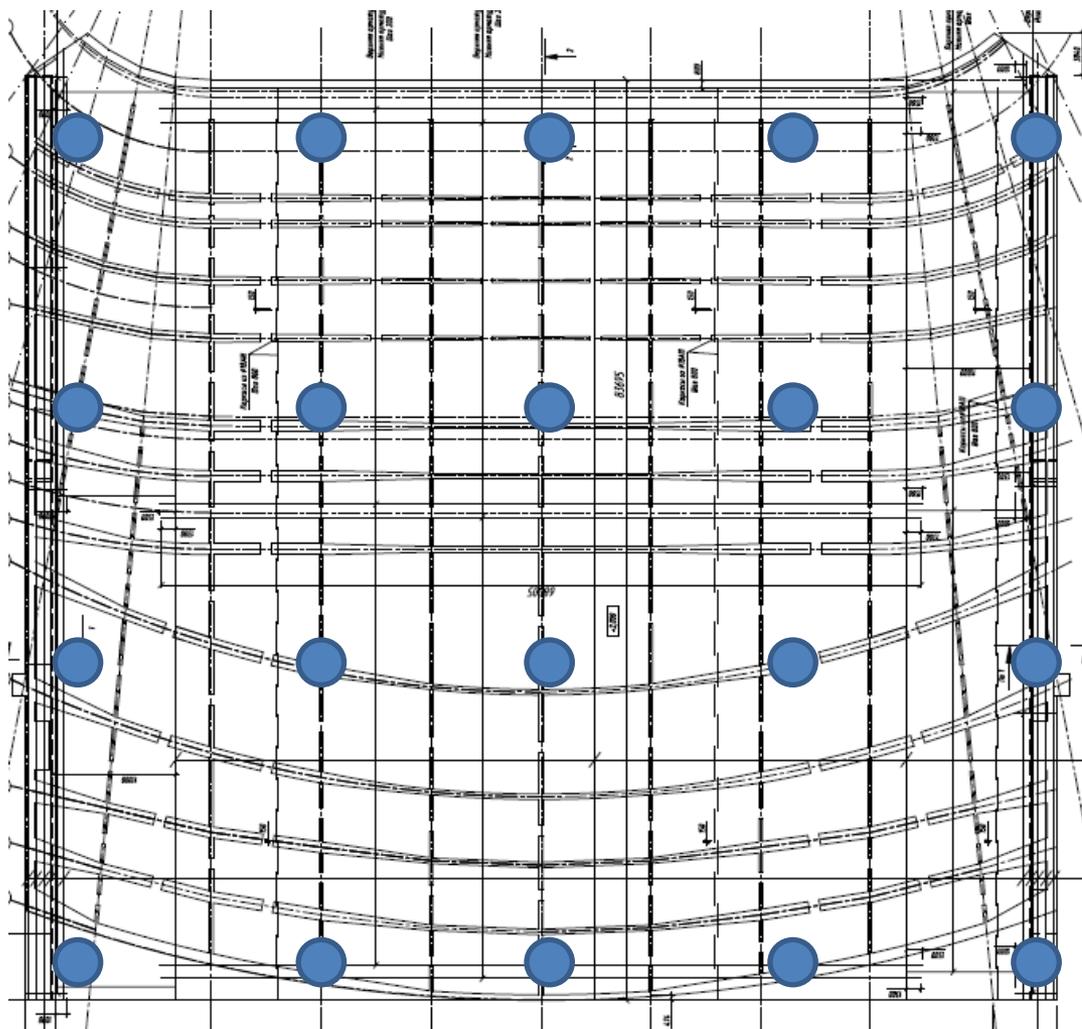


Монтаж датчиков и преобразователей



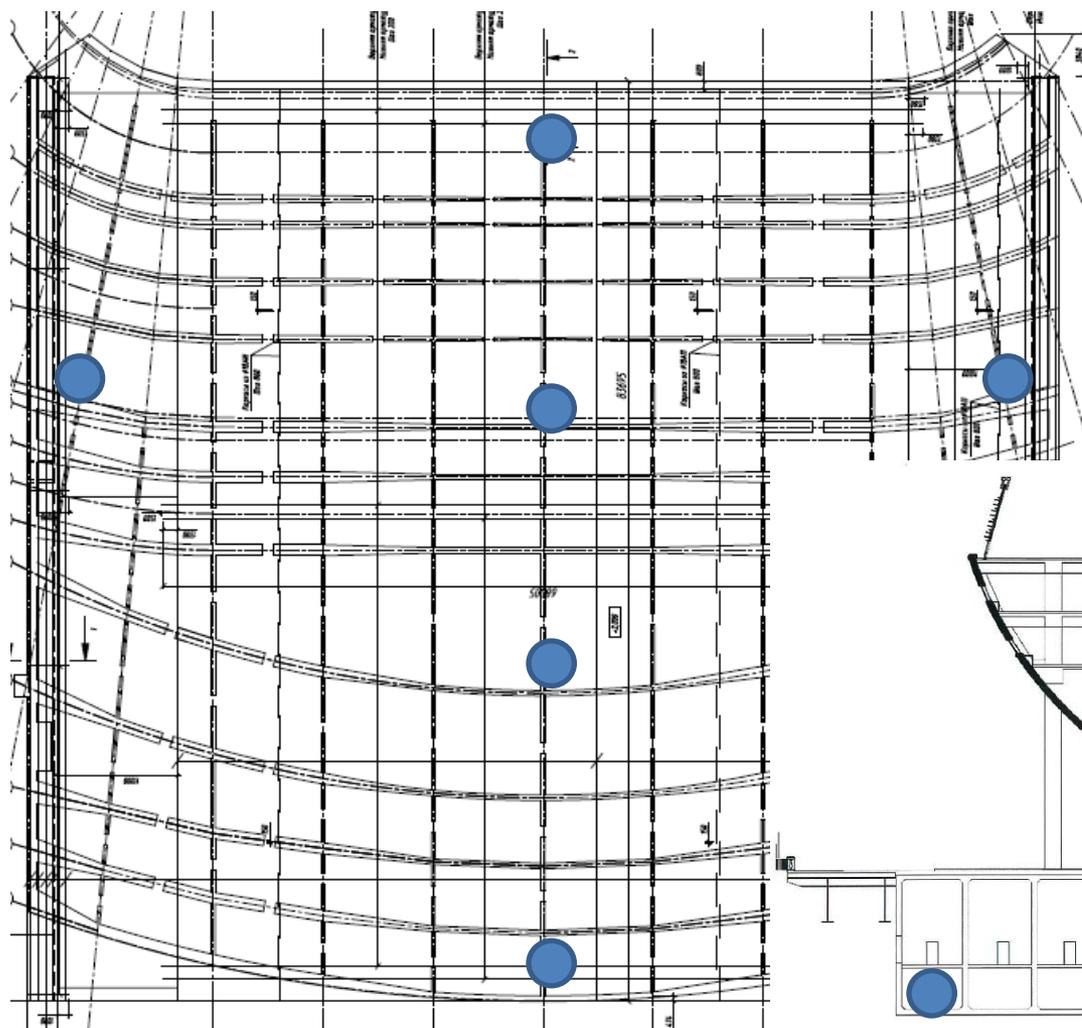
Амплитудно-частотные характеристики сводов при реконструкции

# Мониторинг на примере моста над выкатным полем

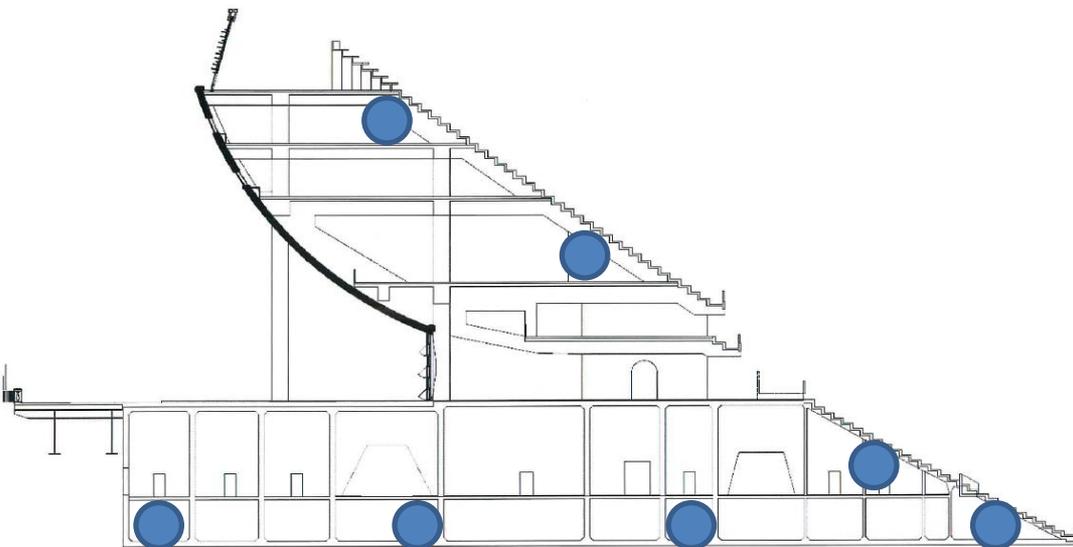


1) Сеть геодезических марок

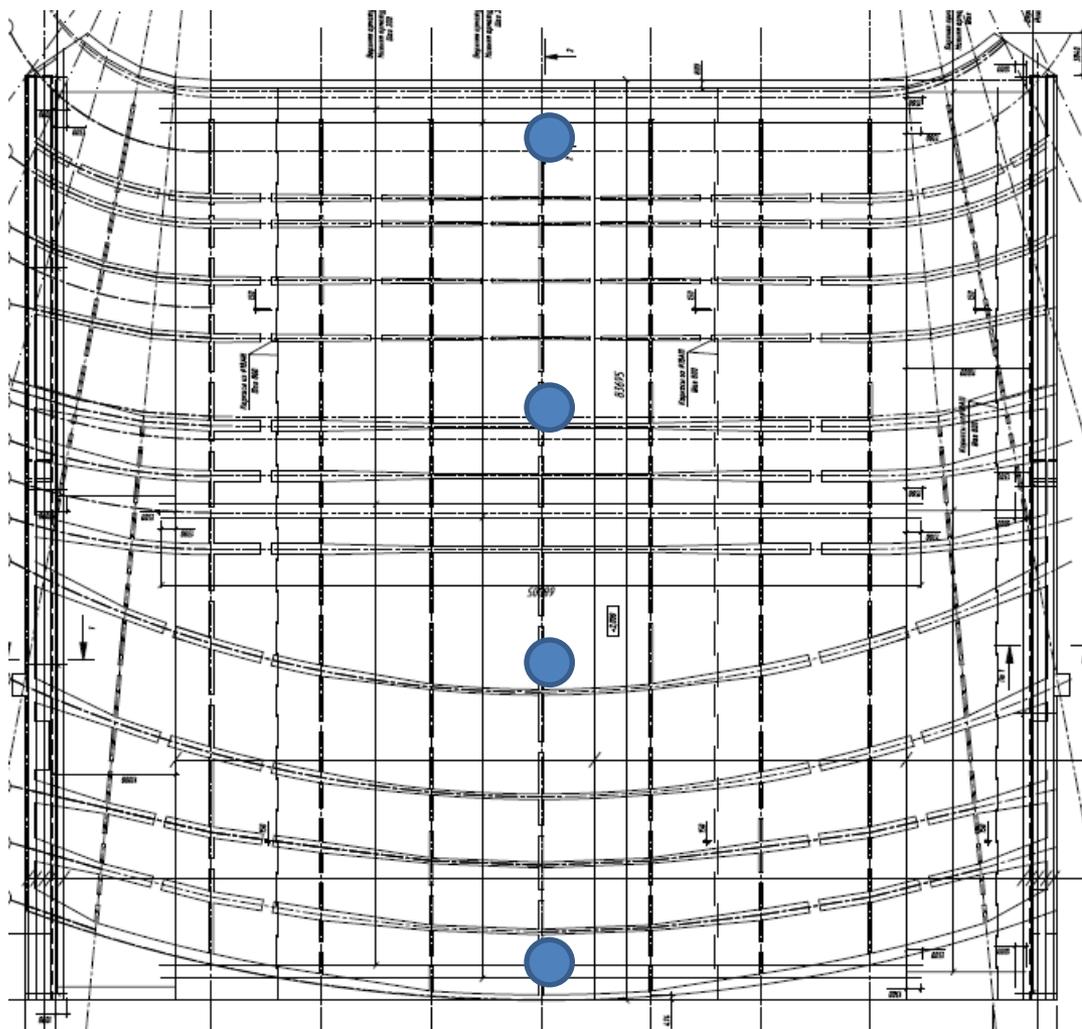
# Мониторинг на примере моста над выкатным полем



2) Датчики вибрации



# Мониторинг на примере моста над выкатным полем

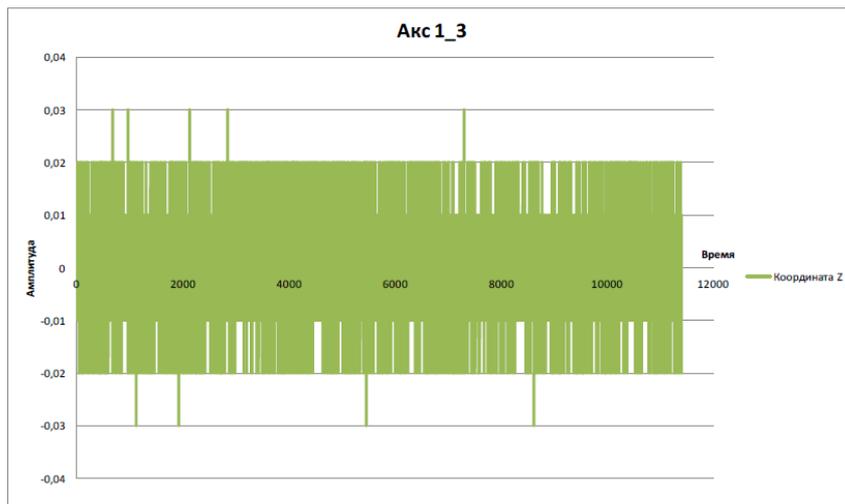


3) Датчики перемещений для анализа прогибов (стационарные либо устанавливаемые на время матча)



Реальные записи с акселерометров

Рис. 3.5. Акселерограмма за время матча 06.08.2017. Координата Z. Датчик: АДМВ-06.



Записи с акселерометров в системе мониторинга: реальный сигнал отсутствует, есть скачки 3-4 разрядов, сигнал представляет собой оцифровку шума на входе.

Рис. 3.8. Акселерограмма за 24 часа. Координата Z. Файл: Акс1\_3.

# Геотехнический мониторинг (нормирование, задачи, методика)

1. Понятие «геотехнический мониторинг».
2. Мониторинг состояния основания и конструкций в процессе строительства
3. Мониторинг состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации объекта
4. Мониторинг состояния основания и конструкций при эксплуатации

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

# 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

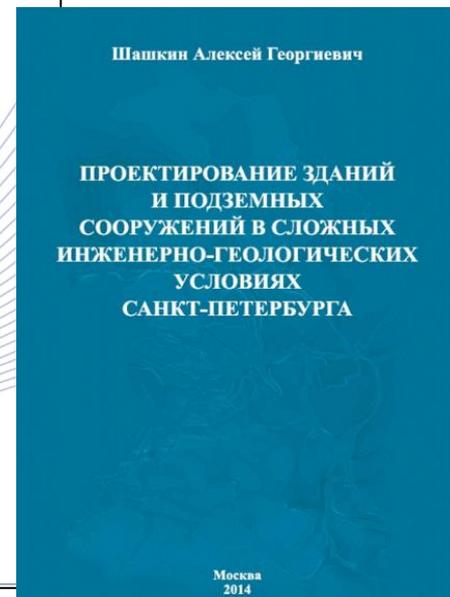
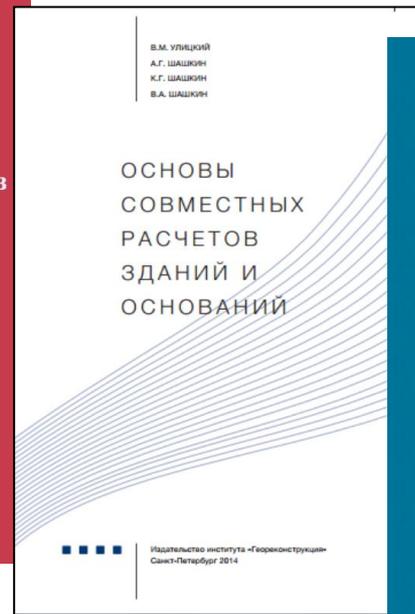
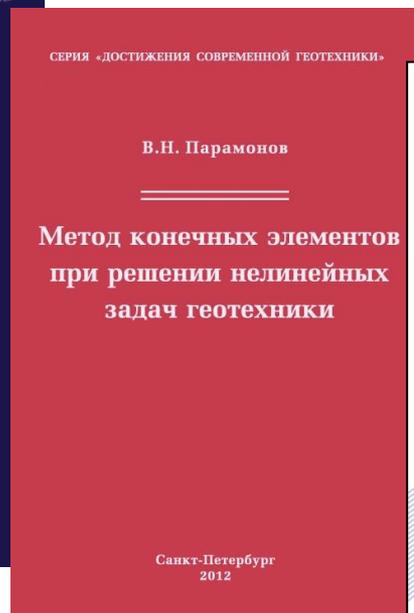
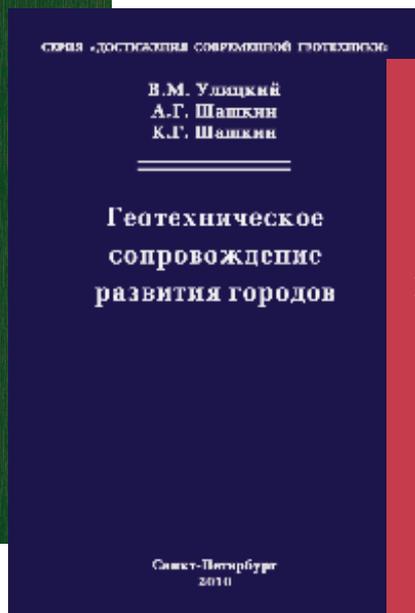
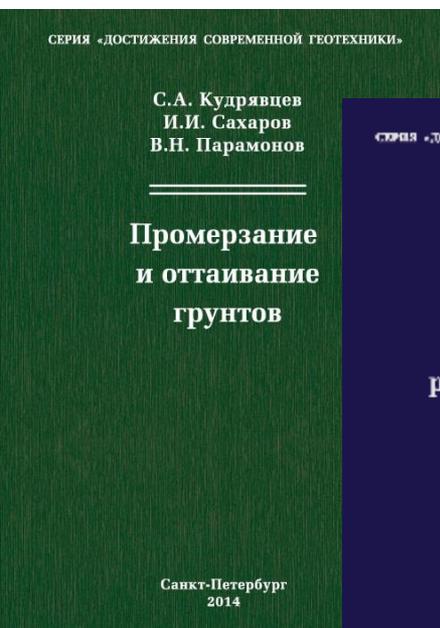
Институт «Геореконструкция» - научно-исследовательский и проектно-исследовательский институт.

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.

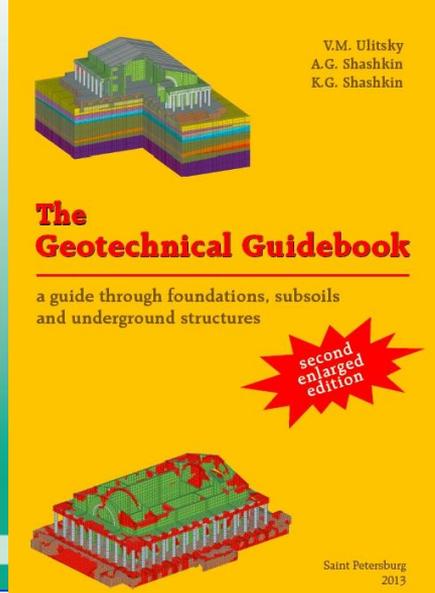
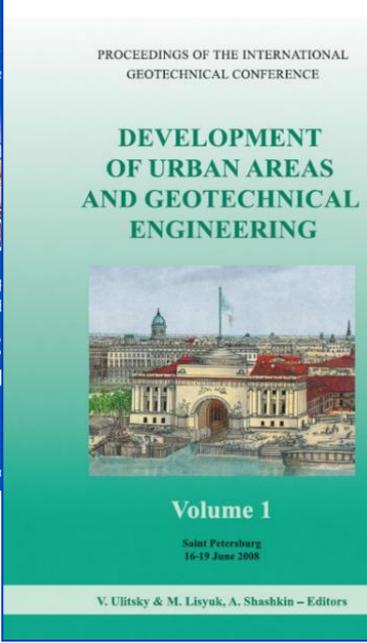
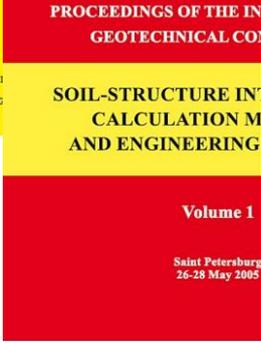
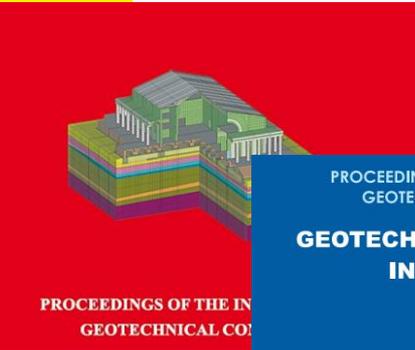
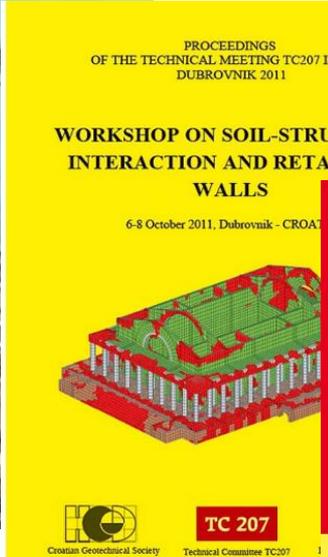
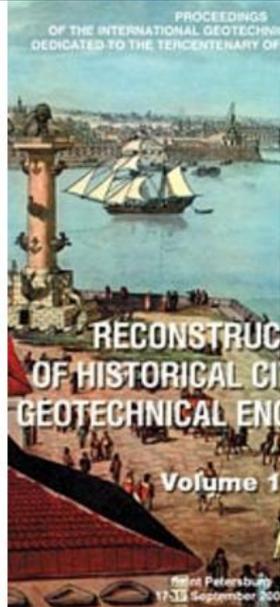


# Научно-техническое сопровождение: международная деятельность

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



Научные труды  
института имеют  
международное  
признание.

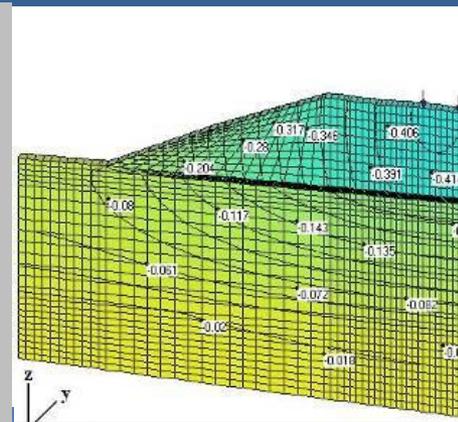


Saint Petersburg 2013

# Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы



**Устройство глубоких котлованов в условиях плотной застройки на слабых грунтах**

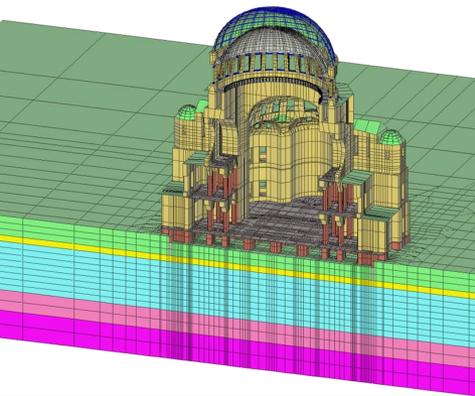


**Прогноз деформаций сооружений на мерзлых и промерзающих грунтах**

**Проектирование высотных зданий на осадочных грунтах**



**Усиление памятников архитектуры и приспособление для современного использования**



**Создание теории и практики расчетов взаимодействия сооружения и основания**



**Разработка методов консолидации и закрепления слабых грунтов**

# Экспертная деятельность - ведущие эксперты, члены научно-технического совета института «Геореконструкция»



**Улицкий Владимир Михайлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основания и фундаменты» ПГУПС, лауреат государственной премии РФ, председатель ТС-207 ISSMGE «Soil-structure Interaction», науч.руководитель института



**Шашкин Алексей Георгиевич** – доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор института, член ТК 465 «Строительство» Минстроя.



**Сахаров Игорь Игоревич** – доктор технических наук, профессор СПбГАСУ, зам. директора института



**Парамонов Владимир Николаевич** – доктор технических наук, профессор ПГУПС, техн. директор института



**Кудрявцев Сергей Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ДВГУПС, руководитель филиала



**Шашкин Константин Георгиевич** – кандидат технических наук, глав. спец. института, сопредседатель ТС-207 ISSMGE «Soil-structure Interaction»

# Разработка нормативной базы по проектированию



МИНИСТЕРСТВО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ

СП 24.13330.2011



МИНИСТЕРСТВО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ

СП 22.13330.2011

ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Актуализированная редакция

**СНиП 2.02.01-83\***

Издание официальное

Москва 2011

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ

Актуализированная редакция

**СНиП 2.02.03-85**

Издание официальное

Москва 2011

Система нормативных документов в строительстве  
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ  
И СООРУЖЕНИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

Разработка норм

Правительство Санкт-Петербурга  
Санкт-Петербург  
2004

Экспертиза норм

# Мониторинг как основа для совершенствования геотехнических расчетов



**Без обратного анализа и уточнения исходных  
расчетных моделей мониторинг – это пустая  
трата времени!**

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

**GEORECONSTRUCTION**



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ОБСЛЕДОВАНИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

ГЕОТЕХНИКА

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