



ЦЕНТР  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
ЭКСПЕРТИЗЫ



**Моделирование и мониторинг конструкционной безопасности длительно эксплуатируемых подземных сооружений системы водоотведения в условиях возрастающих техногенных воздействий в целях обеспечения устойчивого жизненного цикла инженерной инфраструктуры мегаполиса (опыт Санкт-Петербурга)**

**Часть I**

**Моделирование бездефектного жизненного цикла уникальных подземных сооружений системы водоотведения на стадии их возведения в сложных грунтовых условиях**

**Часть II**

**Моделирование и мониторинг конструкционной безопасности длительно эксплуатируемых канализационных тоннелей в условиях возрастающих техногенных воздействий**

**2021г.**

Докладчик: к.т.н., доц.  
Н.А. Перминов (ПГУПС)

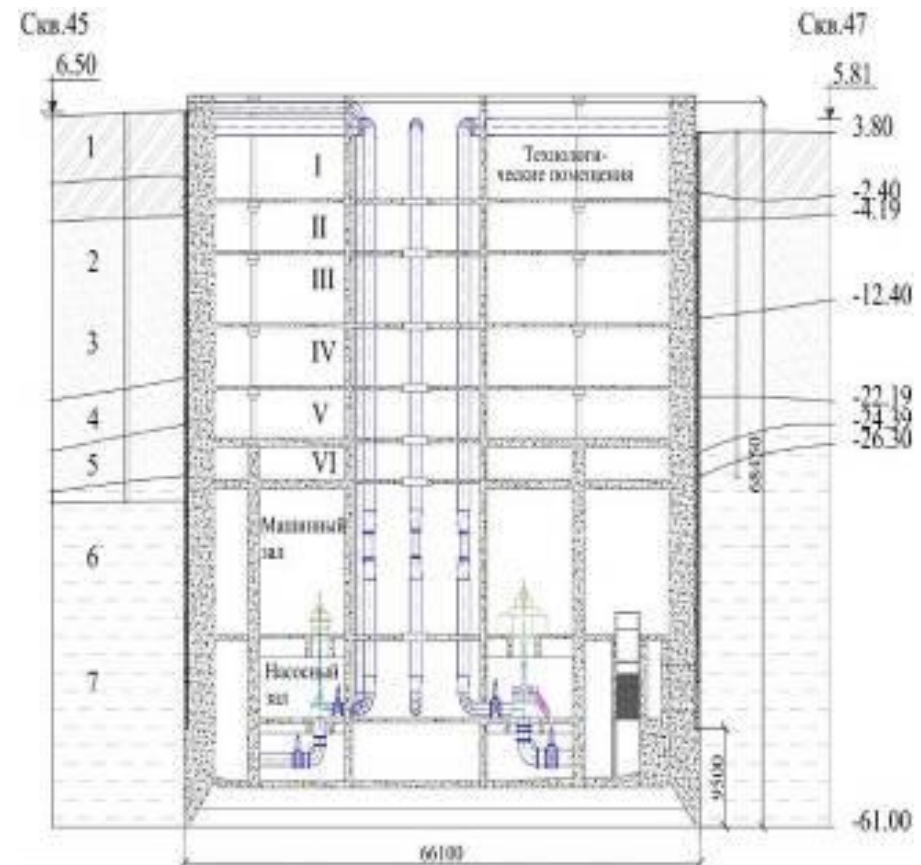
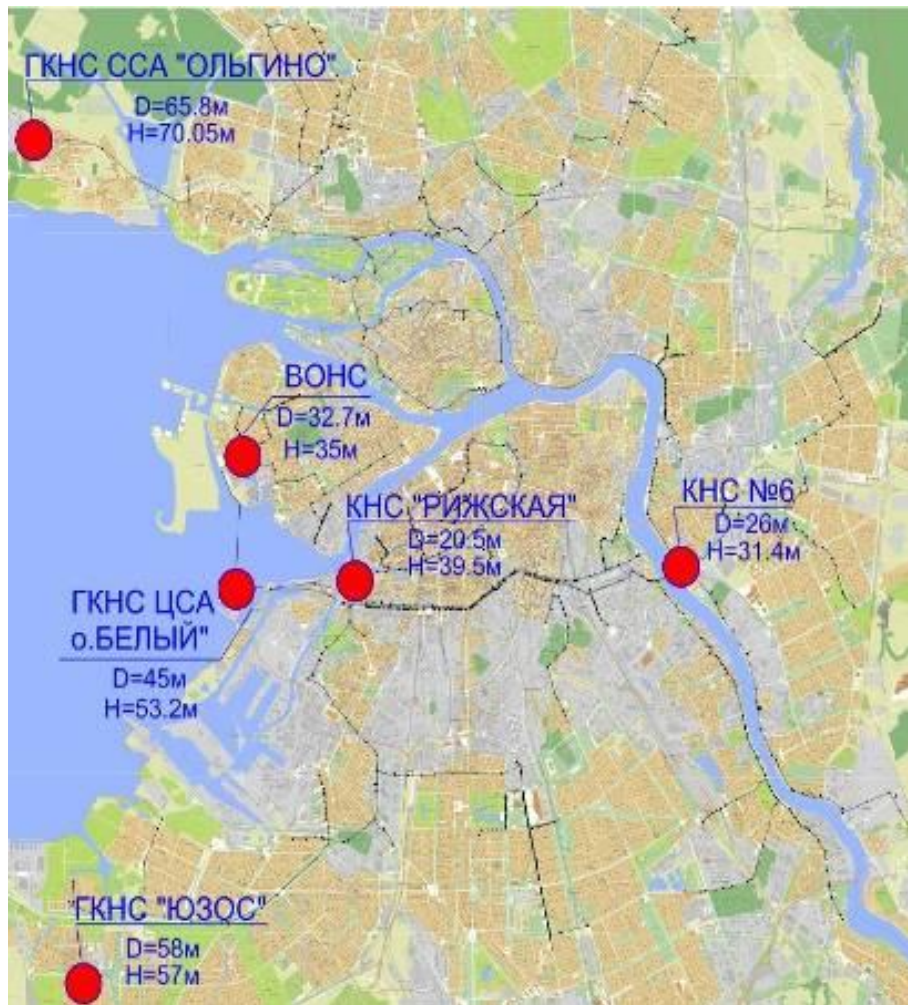


**Часть I**

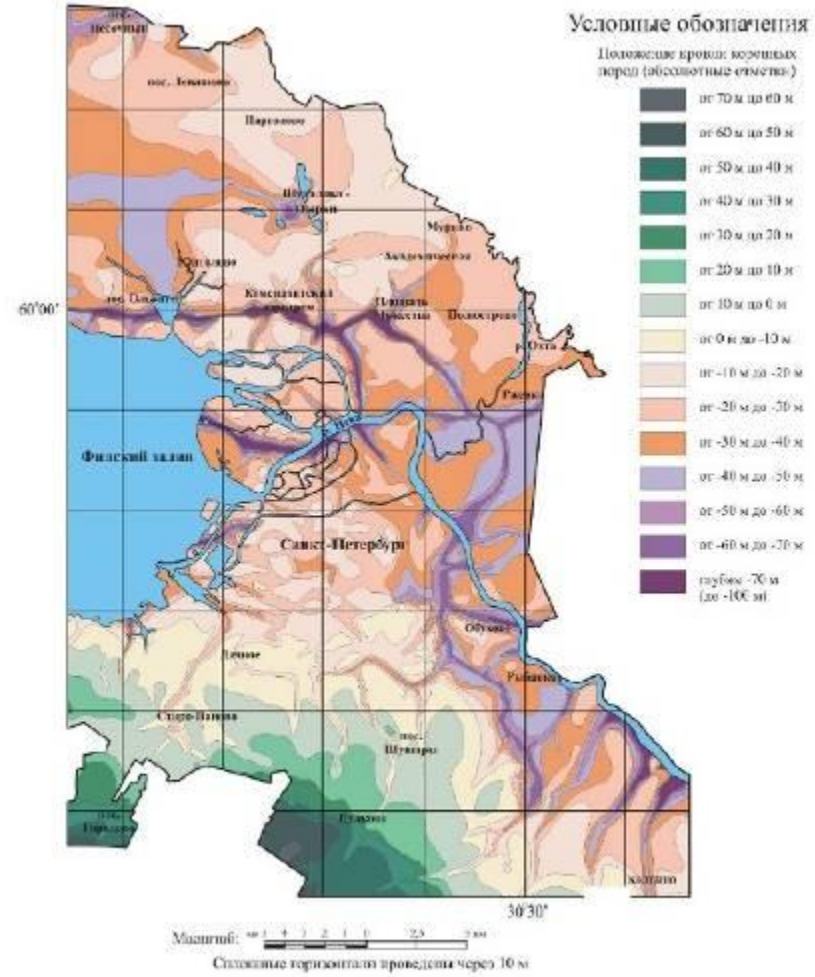
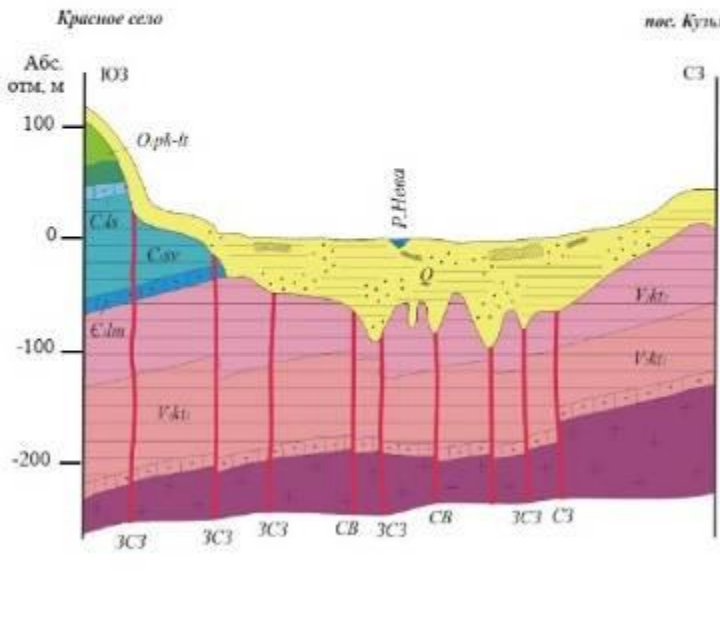
**Моделирование бездефектного  
жизненного цикла уникальных подземных  
сооружений системы водоотведения на  
стадии их возведения в сложных  
грунтовых условиях**

# Крупногабаритные подземные сооружения насосных станций в опускных колодцах (КГОК) системы водоотведения Санкт-Петербурга

## ГКНС ССА п. Ольгино



# ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА



# Моделирование срыва крупногабаритного опускного колодца при погружении

## ЦЕЛЬ РАСЧЁТА.

Провести анализ работы конструкции опускного колодца в период его установки и возможного неконтролируемого проскальзывания (падения) с высоты (1,3 - 1,5) м

## 1. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ.

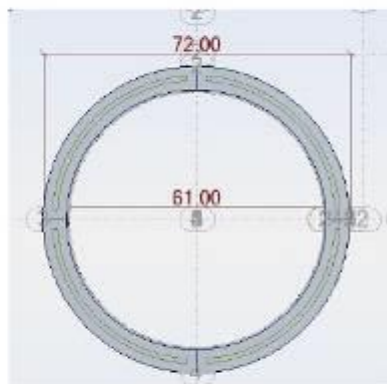
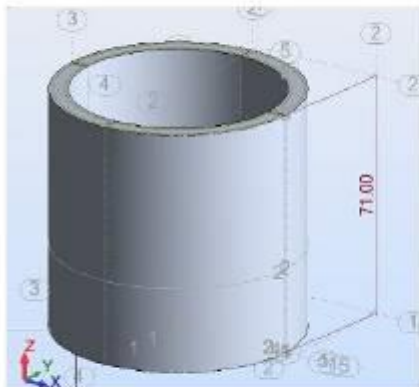
### Несущие конструкции.

Конструкция опускного колодца состоит из двух цилиндров, поставленных друг на друга

Верхний цилиндр: наружный радиус  $R=36$ м, внутр. радиус  $R=30,5$  м, высота  $H_1=46$ м

Нижний цилиндр: наружный радиус  $R=36$ м, внутр. радиус  $R=30$ м, высота  $H_2=25$ м

Таким образом, наружный диаметр  $D = 72$  м, высота  $H = 71$  м. Бетон класса В30.

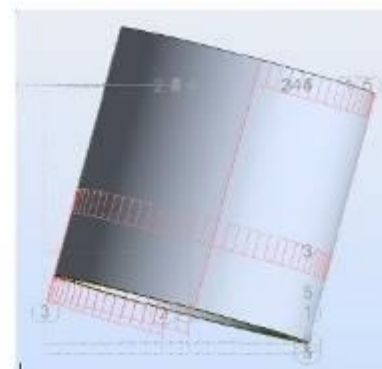
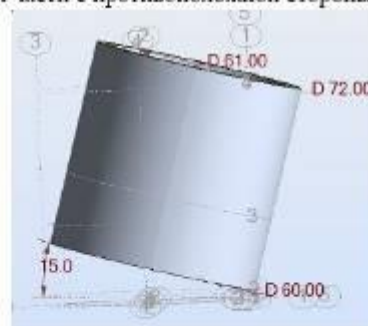


## Нагрузки на конструкцию


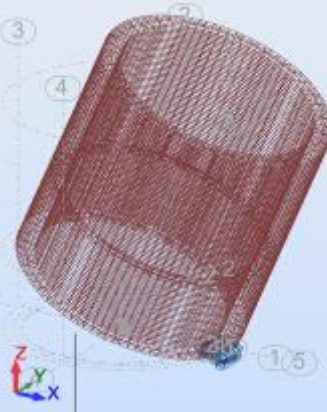
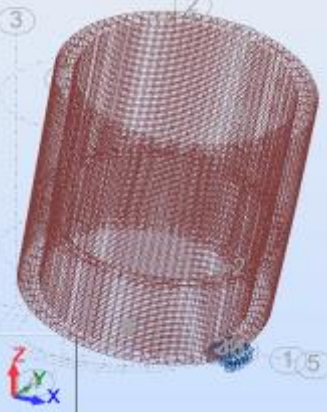

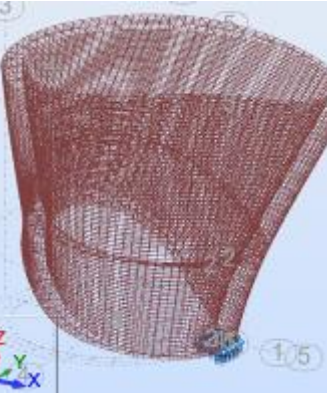
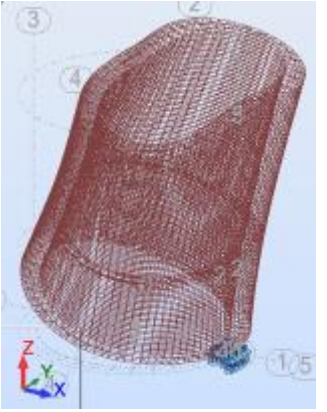
1. Собственный вес. Определяется автоматически программным комплексом.

2. Падение (удар). Для моделирования величины силы удара в модели колодец поднимается на высоту 143 см и падает под действием собственного веса с углом наклона 15 градусов на податливый грунт.

3. Силы трения. Из-за угла наклона силы трения прикладываются в верхней части колодца с одной стороны и в нижней части с противоположной стороны.



# Моделирование срыва крупногабаритного опускного колодца при погружении

	$n^0=0.21$ $\Delta^0_{\max}=0.0\text{cm}$		$n^2=0.56$ $\Delta^2_{\max}=3.1\text{cm}$		$n^4=0.97$ $\Delta^4_{\max}=26.1\text{cm}$
The initial position $\alpha=0.5^\circ$ ; $\Delta H=0\text{ m}$		Shape 2 Pre-limit strain-stress behavior $\alpha=0.5^\circ$ ; $\Delta H=1.25\text{ m}$		Shape 4 Limit strain-stress behavior $\alpha=1^\circ$ ; $\Delta H=1.25\text{ m}$	
	$n^{11}=1.94$ $\Delta^{11}_{\max}=43.5\text{cm}$		$n^{17}=3.68$ $\Delta^{17}_{\max}=62.3\text{cm}$		$n^{22}=8.47$ $\Delta^{22}_{\max}=183.4\text{cm}$
Shape 11 Post-limit strain-stress behavior $\alpha=2.5^\circ$ ; $\Delta H=1.25\text{ m}$		Shape 17 Post-limit strain-stress behavior $\alpha=2.5^\circ$ ; $\Delta H=2.5\text{ m}$		Shape 22 Post-limit strain-stress behavior $\alpha=3.5^\circ$ ; $\Delta H=2.5\text{ m}$	

## Описание модели и алгоритма исследования геотехнологии

### Параметры модели

$$\left. \begin{aligned} dS_{ij} &= 2G^\delta \cdot de_{ij} \\ d\sigma_{cp} &= 3K^\delta \cdot d\varepsilon_{cp} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$G_n^\delta = A_0 + A_1 \cdot \sigma_{cp} + A_2 \cdot \tau_i \quad (2)$$

$$G_p^\delta = A_0 + A_1 \cdot \sigma_{cp} \quad (3)$$

$$K_n^\delta = B_0 + B_1 \cdot \sigma_{cp} + B_2 \cdot \sigma_{cp}^2, \quad (4)$$

где  $A_0, A_1, A_2; K_p; B_0, B_1, B_2$  – расчетные параметры модели инкрементального типа модели.

### Алгоритм исследования

$$\begin{aligned} 1. \quad \tau_i^{j-1} &= \tau_i(\sigma_{cp}^{j-1}) \\ \sigma_{cp}^{j-1} &= \sigma_{cp}(\sigma_{ij}^{j-1}) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} 2. \quad \text{а) } G_{n(j-1)}^\delta &= G_n^\delta(\tau_i^{(j-1)}; \sigma_{cp}^{(j-1)}) - \text{"нагрузка"} \\ G_{p(j-1)}^\delta &= G_p^\delta(\sigma_{cp}^{(j-1)}) - \text{"разгрузка"} \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} \text{б) } K_{n(j-1)}^\delta &= K_n^\delta(\sigma_{cp}^{(j-1)}) - \text{"нагрузка"} \\ K_{p(j-1)}^\delta &= \text{const} - \text{"разгрузка"} \end{aligned} \quad (6.2)$$

$$\begin{aligned} 3. \quad S_{ij}^{(j)} &= S_{ij}^{(j-1)} + dS_{ij}^{(j)} \cdot 4 \cdot \sigma_{ij}^j = \sigma_{ij}^{(j-1)} + \sigma_{cp}^{(j)} \cdot \delta \\ \text{где } \delta & - \text{символ Кронекера.} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} 4. \quad \text{Вычисления полных деформаций} \\ \varepsilon_{ij}^{(j)} &= \varepsilon_{ij}^{(j-1)} + d\varepsilon_{ij}^{(j-1)} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} 5. \quad \text{Условия нагружения} \\ \text{при } \tau_i^{(j)} \geq \tau_i^{(j-1)} & - \text{"нагрузка"} \\ \tau_i^{(j)} < \tau_i^{(j-1)} & - \text{"разгрузка"} \end{aligned}$$

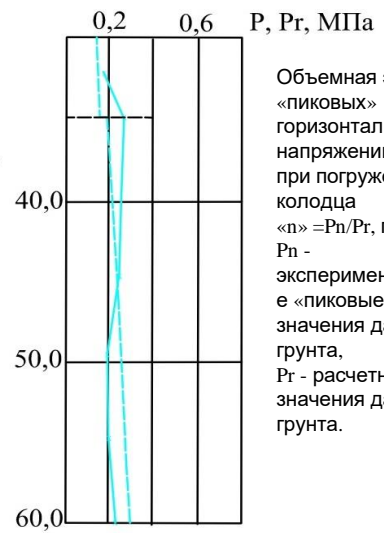
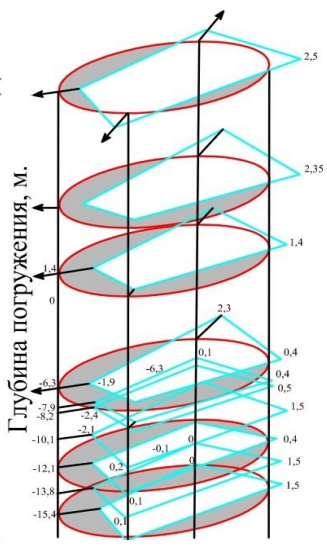
$$\begin{aligned} \text{при } \sigma_{cp}^{(j)} \geq \sigma_{cp}^{(j-1)} & - \text{"нагрузка"} \\ \sigma_{cp}^{(j)} < \sigma_{cp}^{(j-1)} & - \text{"разгрузка"} \end{aligned}$$

$$6. \quad \text{Формирование матриц } [B^j]; [D^j]; [K^j].$$

$$\begin{aligned} 7. \quad \text{Решение системы уравнений} \\ [K^j] \cdot \{dU_{ij}^j\} = \{dF^j\} \end{aligned} \quad (9)$$

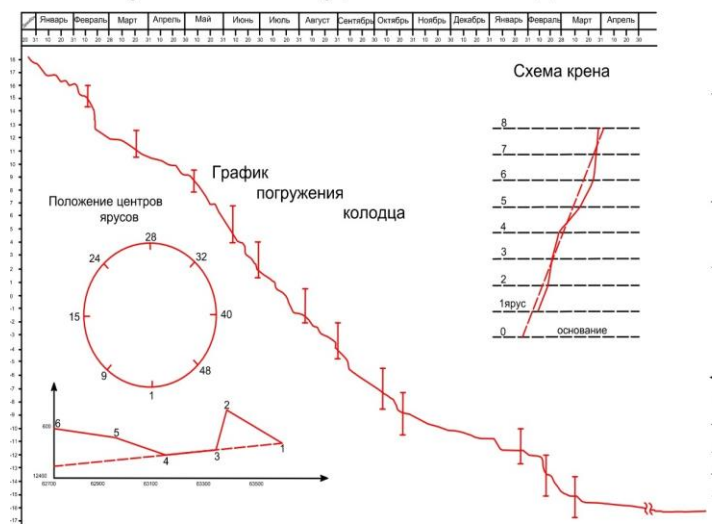
$$8. \quad \text{Вычисление приращения вектора деформации } \{d\varepsilon_{ij}^j\}; \text{ переход к } \{\varepsilon_{ij}^j\}.$$

## Результаты натуральных наблюдений

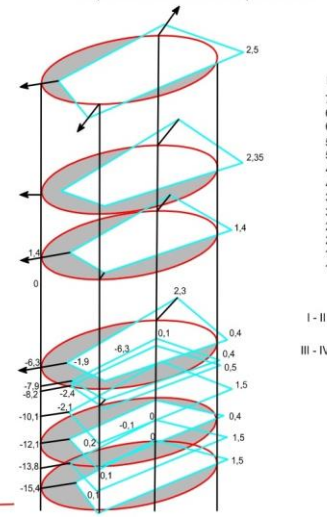


Объемная эпюра «пиковых» горизонтальных напряжений «п» при погружении колодца «п» = Pn/Pr, где Pn - экспериментальные «пиковые» значения давления грунта, Pr - расчетные значения давления грунта.

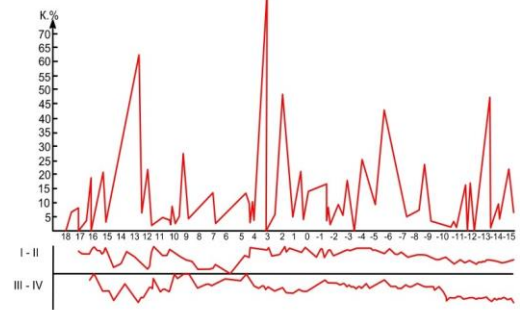
## Результаты натуральных наблюдений



### Объемная эпюра Горизонтальных напряжений

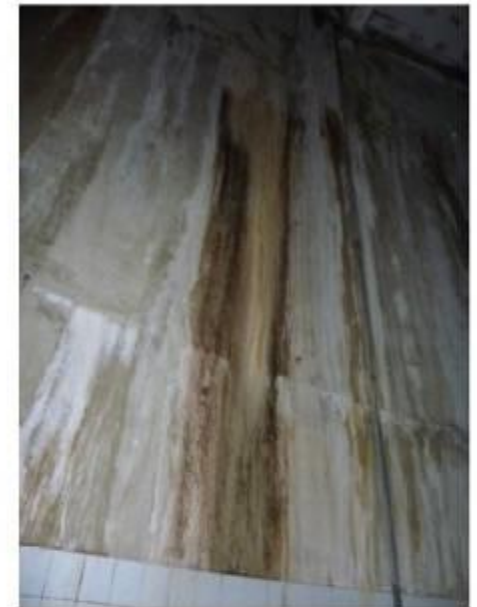


### Диаграмма темпа погружения и отклонения от вертикальной оси колодца





## Дефекты (коррозия и силовые трещины) длительно эксплуатируемых КГОК



### ГКНС ССА «Ольгино». Стены опускного колодца.

На участках стены опускного колодца имеются протечки через сквозные свищи и трещины, холодные швы бетонирования. В зонах свищей имеются выносы продуктов коррозии бетона. Дефект носит повторяющийся характер.



### КНС «Рижская». Стены опускного колодца.

На поверхностях стен опускного колодца и перекрытий имеются следы интенсивных сквозных протечек через трещины и свищи. Дефект носит массовый характер. В зонах трещин и свищей имеются выносы продуктов коррозии бетона.



# Часть II

## Моделирование и мониторинг конструкционной безопасности длительно эксплуатируемых канализационных тоннелей в условиях возрастающих техногенных воздействий

# Объекты моделирования и мониторинга тоннельных коллекторов Санкт-Петербурга

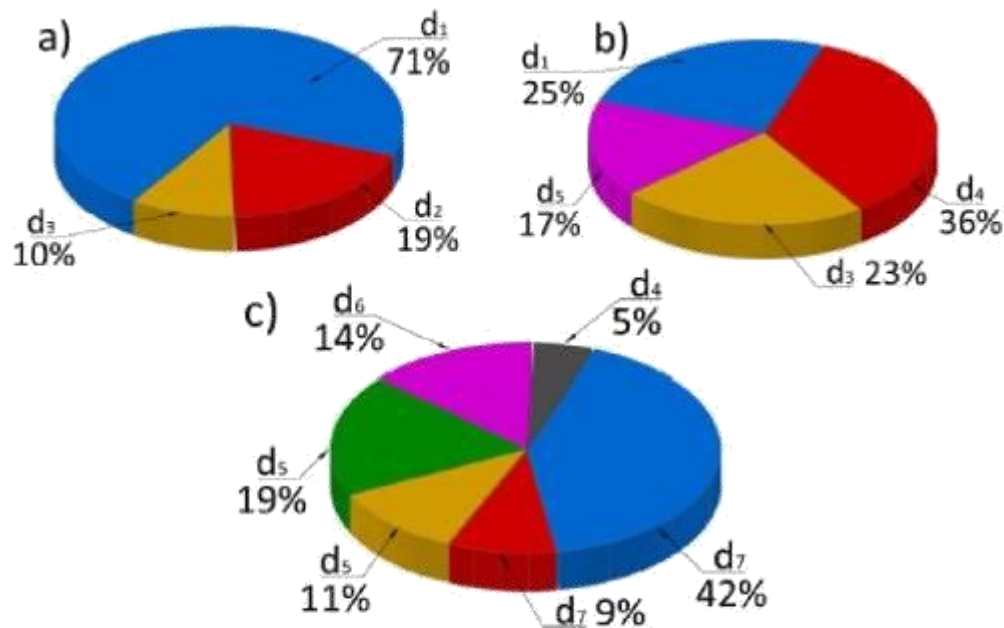


Тоннельные канализационные коллекторы эксплуатируются ГУП «Водоканал СПб» в специфических условиях:

- значительной изношенности ТКК - возраст 35-40 лет и более;
- отсутствие дублёров на преобладающем большинстве участков, т.е. восстановление ТКК возможно только в условиях транспортирования стоков;
- широкий спектр сечений эксплуатируемых тоннелей: диаметры от 1,2 до 5,5 м (переменное рабочее сечение тоннеля по длине интервала тоннеля) с геометрией поперечного сечения от круглого до подковообразного и др.;
- глубины заложения тоннелей от 5 до 80 м;
- интервалов между шахтами до километра;
- наличие участков с малыми радиусами поворота тоннеля (до 30 м и менее);
- переменное рабочее сечение тоннеля по длине интервала тоннеля.

С 2004 года при содействии ГУП «Водоканал СПб» специалистами ГУП «Ленгипроинжпроект» и ПГУПСа ведётся углублённое техническое и инструментальное обследование тоннельных канализационных коллекторов в Санкт-Петербурге диаметром от 1,2 метра до 5,5 метра общей длиной более 30 километров.

В настоящее время 60 % тоннелей с самотечной канализацией и 80 % тоннелей с напорной канализацией требуют ремонта и санации. Основными дефектами являются механический износ обделки и ее газовая коррозия





d1- усадочные трещины в бетонной рубашке;  
d2- признаки газовой коррозии;  
d3- капельные течи;  
d4- силовые трещины в своде и на боковой поверхности тоннеля;  
d5- признаки биологической коррозии бетона;  
d6- коррозия арматуры, истирание лотка;  
d7- наличие напорных протечек;

Динамика и структура проявления дефектов за период длительной эксплуатации ТКК:

- а) 70-80 годы;
- б) 80-2000 годы;
- в) 2000-2016 годы.

# КАТАЛОГ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИЙ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТОННЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ (ФРАГМЕНТ)

№п /п	Наименование дефекта	Визуальные признаки дефекта	Кодовое обозначение	Фотофиксация (пример)
1	Изменение геометрии сечения (заужение, сегментирование)	<p>1. Дефект, приобретённый во время строительства – изменение геометрии сечения коллектора от круглого до полукруглого</p> <p>2. Дефект, приобретённый во время эксплуатации – увеличение горизонтального или вертикального «диаметра» коллектора</p>	<p>10.1.A.B.C.D</p> <p>A, B, C, D – параметры изменения геометрии сечения</p>	
2	Газовая (микро-биологическая) коррозия бетона вследствие воздействия химически агрессивных сточных вод	Проявление пористой структуры бетона с обнажением заполнителя; размягчение бетона вследствие химической реакции	<p>20.1.A.B.C.</p> <p>A-глубина размягченного бетона B – площадь поверхности C- показатель PH</p>	

№п /п	Наименование дефекта	Визуальные признаки дефекта	Кодовое обозначение	Фотофиксация (пример)
3	Обнажение арматурной сетки железобетонной рубашки (1)/ торкретного покрытия (2) / бетона труб (3) вследствие уменьшения защитного слоя бетона.	На поверхности бетона наблюдаются следы обнажения арматуры и её коррозии. Дефект развивается на фоне газовой (микробиологической) коррозии бетона	21.1.А.В.С. А-толщина утраченного защитного слоя В – площадь поверхности обнажения арматурной сетки С- показатель РН	
			22.2.А.В.С. А-толщина утраченного защитного слоя В – площадь поверхности обнажения арматурной сетки С- показатель РН	
			22.3.А.В.С. А-толщина утраченного защитного слоя В – площадь поверхности обнажения арматурной сетки С- показатель РН	

## Описание модели и алгоритма исследования геотехнологии

### Параметры модели

$$\left. \begin{aligned} dS_{ij} &= 2G^\delta \cdot de_{ij} \\ d\sigma_{cp} &= 3K^\delta \cdot d\varepsilon_{cp} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$G_n^\delta = A_0 + A_1 \cdot \sigma_{cp} + A_2 \cdot \tau_i \quad (2)$$

$$G_p^\delta = A_0 + A_1 \cdot \sigma_{cp} \quad (3)$$

$$K_n^\delta = B_0 + B_1 \cdot \sigma_{cp} + B_2 \cdot \sigma_{cp}^2, \quad (4)$$

где  $A_0, A_1, A_2; K_p; B_0, B_1, B_2$  – расчетные параметры модели инкрементального типа модели.

### Алгоритм исследования

$$\begin{aligned} 1. \quad \tau_i^{j-1} &= \tau_i(\sigma_{cp}^{j-1}) \\ \sigma_{cp}^{j-1} &= \sigma_{cp}(\sigma_{ij}^{j-1}) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ а) } G_{n(j-1)}^\delta &= G_n^\delta(\tau_i^{(j-1)}; \sigma_{cp}^{(j-1)}) - \text{"нагрузка"} \\ G_{p(j-1)}^\delta &= G_p^\delta(\sigma_{cp}^{(j-1)}) - \text{"разгрузка"} \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} \text{б) } K_{n(j-1)}^\delta &= K_n^\delta(\sigma_{cp}^{(j-1)}) - \text{"нагрузка"} \\ K_{p(j-1)}^\delta &= \text{const} - \text{"разгрузка"} \end{aligned} \quad (6.2)$$

$$\begin{aligned} 3. \quad S_{ij}^{(j)} &= S_{ij}^{(j-1)} + dS_{ij}^{(j)} \cdot 4 \cdot \sigma_{ij}^j = \sigma_{ij}^{(j-1)} + \sigma_{cp}^{(j)} \cdot \delta \\ \text{где } \delta & - \text{символ Кронекера.} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} 4. \text{ Вычисления полных деформаций} \\ \varepsilon_{ij}^{(j)} &= \varepsilon_{ij}^{(j-1)} + d\varepsilon_{ij}^{(j-1)} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} 5. \text{ Условия нагружения} \\ \text{при } \tau_i^{(j)} \geq \tau_i^{(j-1)} & - \text{"нагрузка"} \\ \tau_i^{(j)} < \tau_i^{(j-1)} & - \text{"разгрузка"} \end{aligned}$$

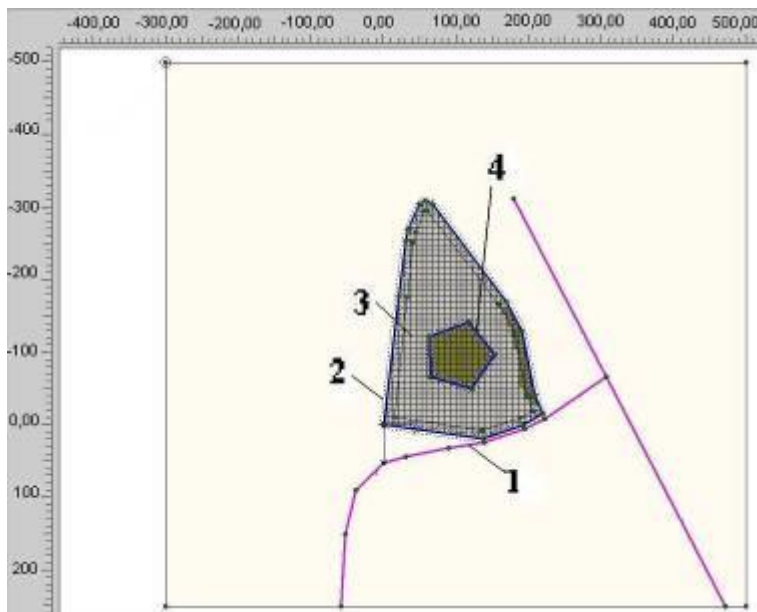
$$\begin{aligned} \text{при } \sigma_{cp}^{(j)} \geq \sigma_{cp}^{(j-1)} & - \text{"нагрузка"} \\ \sigma_{cp}^{(j)} < \sigma_{cp}^{(j-1)} & - \text{"разгрузка"} \end{aligned}$$

$$6. \text{ Формирование матриц } [B^j]; [D^j]; [K^j].$$

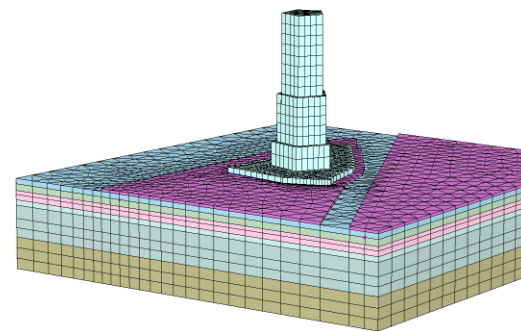
$$\begin{aligned} 7. \text{ Решение системы уравнений} \\ [K^j] \cdot \{dU_{ij}^j\} = \{dF^j\} \end{aligned} \quad (9)$$

$$8. \text{ Вычисление приращения вектора деформации } \{d\varepsilon_{ij}^j\}; \text{ переход к } \{\varepsilon_{ij}^j\}.$$

# Мониторинг уникальных подземных сооружений системы водоотведения



Plaxis Output Version 2.1.0.308



Deformed Mesh (at true scale)  
Maximum Value =  $134,30 \cdot 10^{-3}$  m  
Minimum Value = 0,00 m

**PLAXIS**  
Finite Element Code for Soil and Rock Analysis

Project description  
общий вид модели A  
Project name  
okhta3DA

Date  
28.09.2010

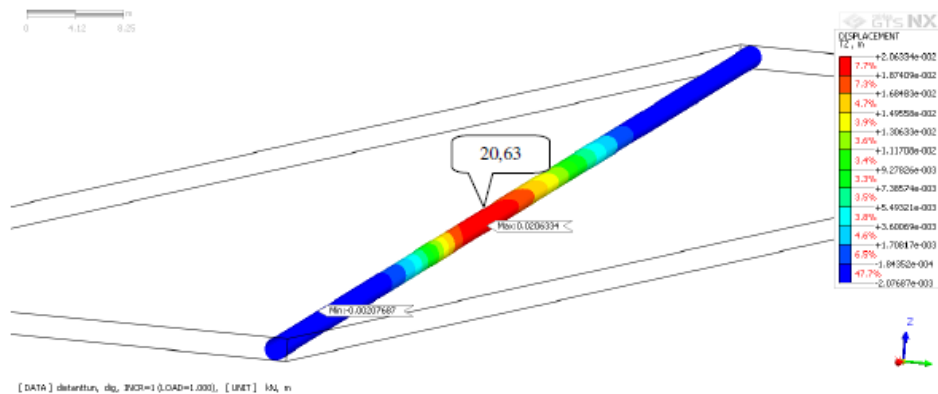
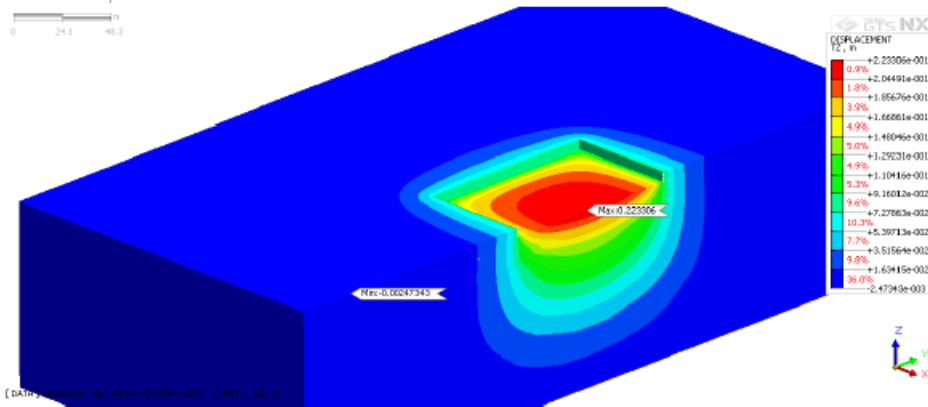
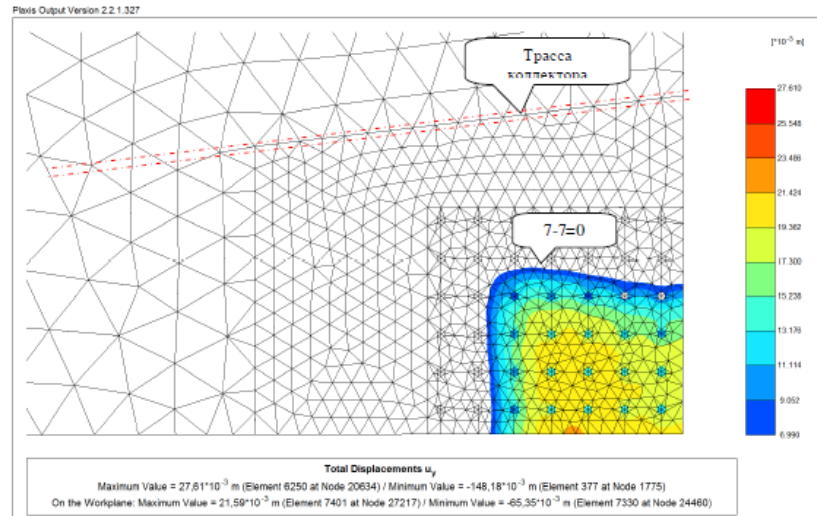
Step  
21

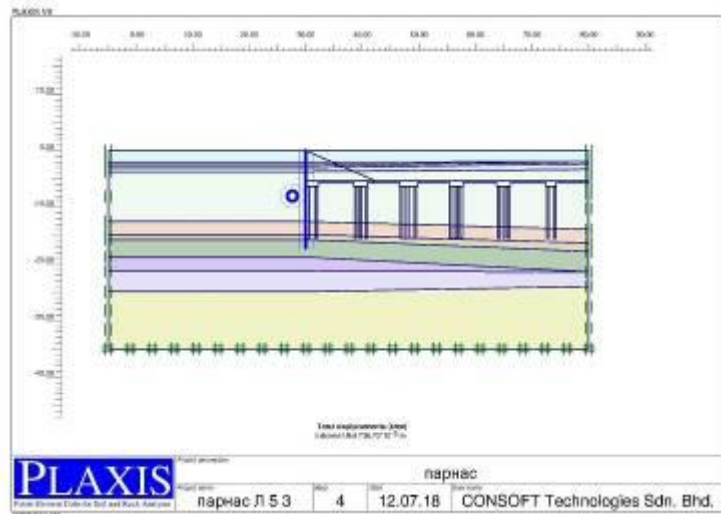
User name  
GUP Lengiproinjproject

Number	Name	$\nu$ [ $10^{-3}$ ]	$E_{ref}$ [ $10^3$ kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi$ [°]	$\gamma_{unsat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	ИГЭ 01 насыпные	300,000	25,000	25,000	25,000	18,000	19,000
2	ИГЭ 01a техногенный	300,000	10,000	1,000	23,000	18,000	19,000
3	ИГЭ 02	340,000	8,000	17,000	18,000	19,900	19,900
4	ИГЭ 03A суглинки	360,000	7,000	8,000	12,000	19,600	19,600
5	ИГЭ 03B суглинки	360,000	6,000	7,000	9,000	18,600	18,600
6	ИГЭ 04/4a водоупор	360,000	6,000	10,000	11,000	18,600	18,600
7	ИГЭ 02...04	340,000	8,000	10,000	10,000	19,000	19,000
8	ИГЭ 05B песок	300,000	30,000	6,000	34,000	21,100	21,100
9	ИГЭ 05 супеси	340,000	8,000	12,000	16,000	20,100	20,100
10	ИГЭ 06* супеси	320,000	31,000	33,000	25,000	21,700	21,700
11	ИГЭ 11* глины дисперс	340,000	40,000	150,000	17,000	21,300	21,300
13	ИГЭ 12* глины твердые	340,000	180,000	340,000	26,000	22,200	22,200
14	ИГЭ 13* глины твердые	340,000	250,000	610,000	32,000	22,300	22,300

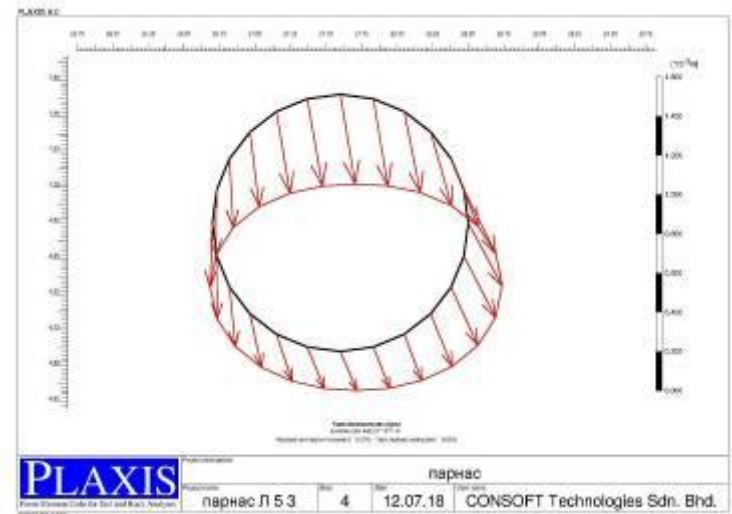
ID	Name	$\nu$ [-]	$E_{ref}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_{unsat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$R_{inter}$ [-]
12	В35 стены	0,20	3,45E7	25,0	25,0	0,10
13	барреты	0,35	2E7	24,0	24,0	1,00
15	сваи	0,35	1,5E7	22,5	22,5	1,00
17	бетонит	0,48	1,0	12,0	12,0	1,00
18	maquette	0,35	5E6	2,0	2,0	0,10
19	perm16	0,45	3000,0	16,0	16,0	0,10
20	perm18	0,45	3000,0	18,0	18,0	0,10
21	perm20	0,45	3000,0	20,0	20,0	0,10
22	perm22	0,48	800,0	22,0	22,0	0,10
23	perm14	0,48	800,0	14,0	14,0	0,10
24	жидкий бетон	0,40	1000,0	25,0	25,0	1,00



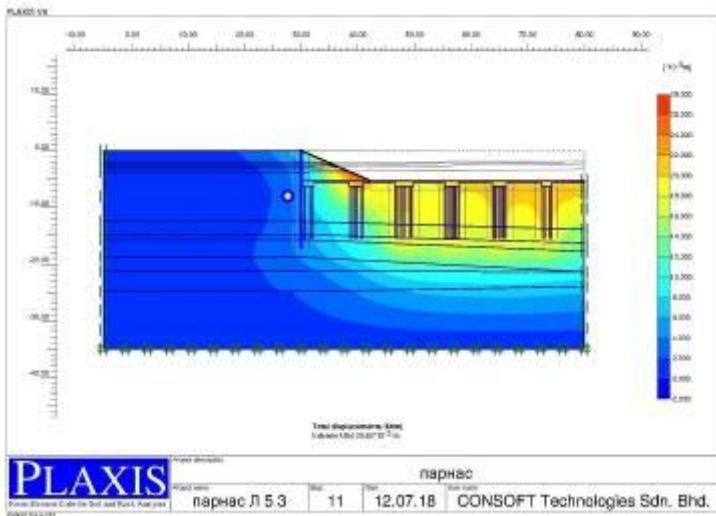




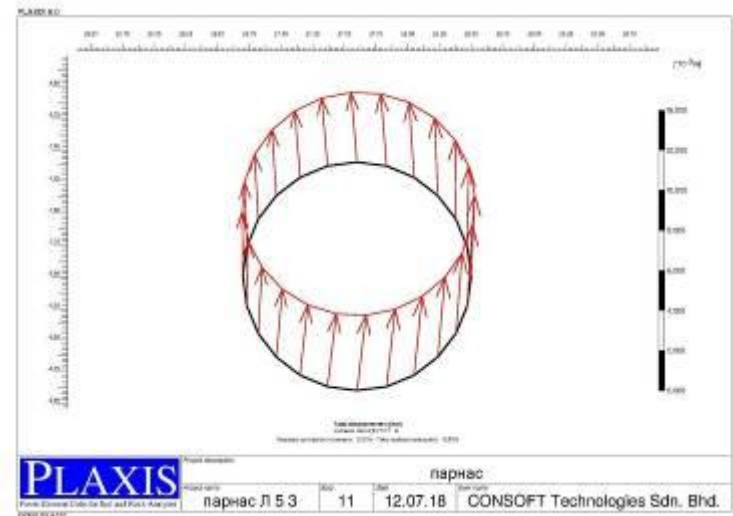
Сечение Л. Этап 1. Общие перемещения



Сечение Л. Этап 1. Перемещения существующего коллектора



Сечение Л. Этап 2. Общие перемещения

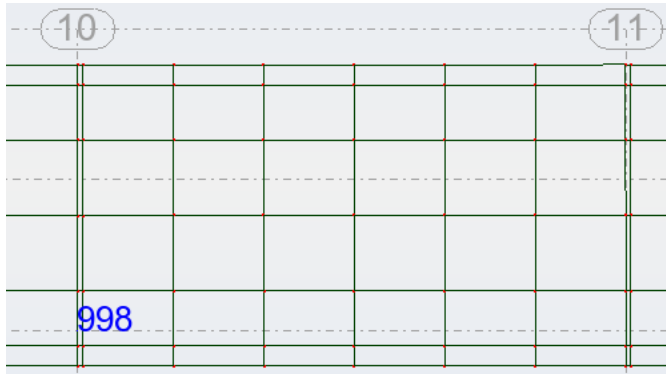


Сечение Л. Этап 2. Перемещения существующего коллектора



# Мониторинг уникальных подземных сооружений системы водоотведения Фрагменты конструкторских расчетов

Оценка допустимого воздействия от строительства на тоннельный коллектор



Ось 10



✓ Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
MAX	0,11	-140,67	0,0	-0,0000	0,0000	0,0002
Узел	998	998	998	998	998	998

Огибающие | Глобальные экстремумы

✓ Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

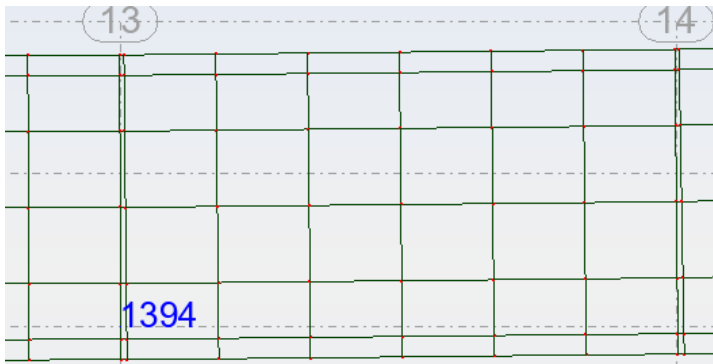
	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
MAX	0,22	-140,58	0,0	0,0000	0,0000	0,0002
Узел	1112	1112	1112	1112	1112	1112

Огибающие | Глобальные экстремумы

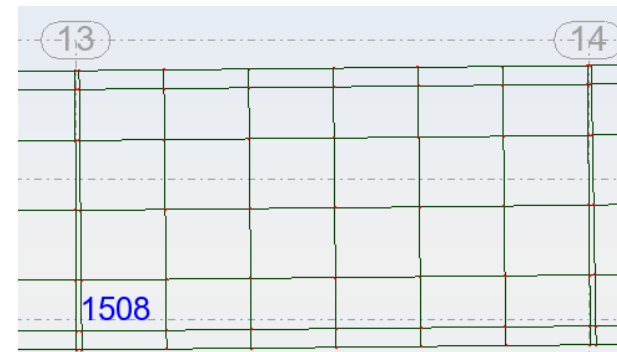
Разница в значениях перемещений по оси X и по оси Y меньше 1 мм

# Мониторинг уникальных подземных сооружений системы водоотведения Фрагменты конструкторских расчетов

Оценка допустимого воздействия от строительства на тоннельный коллектор



Ось 13



Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
MAX	2,51	-129,41	0,0	0,0000	-0,0000	0,0031
Узел	1394	1394	1394	1394	1394	1394

Огибающие | **Глобальные экстремумы**

Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

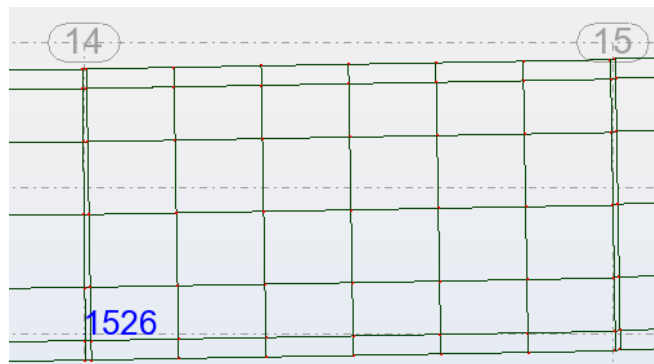
	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
MAX	6,03	-130,05	0,0	0,0000	0,0000	0,0073
Узел	1508	1508	1508	1508	1508	1508

Огибающие | **Глобальные экстремумы**

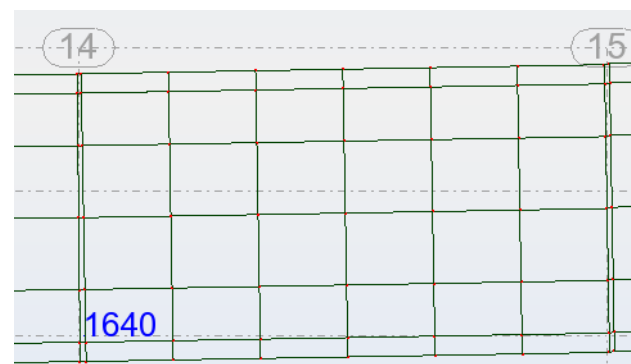
Разница в значениях перемещений по оси X 3,52 мм, по оси Y около 1 мм

# Мониторинг уникальных подземных сооружений системы водоотведения Фрагменты конструкторских расчетов

Оценка допустимого воздействия от строительства на тоннельный коллектор



Ось 14



Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
МАХ	6,08	-108,12	0,0	0,0000	-0,0000	0,0074
Узел	1526	1526	1526	1526	1526	1526

Огибающие | **Глобальные экстремумы**

Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
МАХ	10,35	-107,19	0,0	0,0000	0,0000	0,0126
Узел	1640	1640	1640	1640	1640	1640

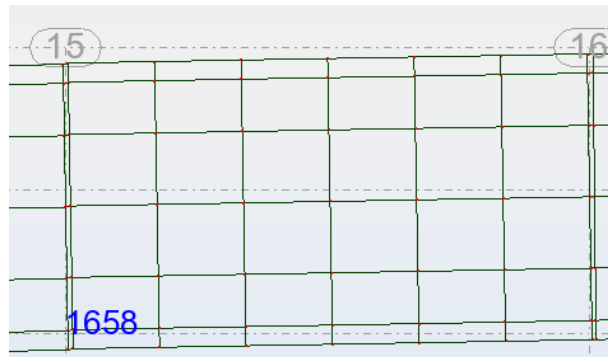
Огибающие | **Глобальные экстремумы**

Разница в значениях перемещений по оси X 4,27 мм, по оси Y около 1 мм

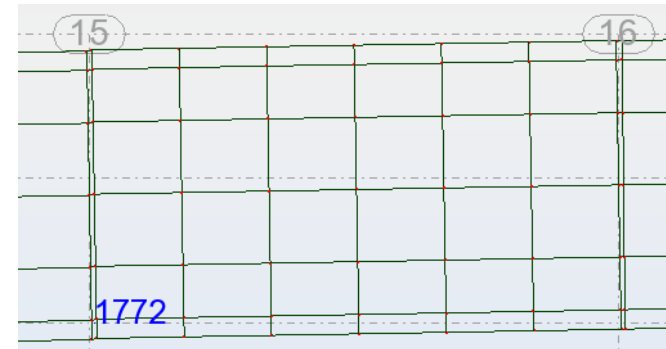
# Мониторинг уникальных подземных сооружений системы водоотведения

## Фрагменты конструкторских расчетов

Оценка допустимого воздействия от строительства на тоннельный коллектор



Ось 15



Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
MAX	10,38	-69,58	0,0	0,0000	-0,0000	0,0127
Узел	1658	1658	1658	1658	1658	1658

Огибающие | Глобальные экстремумы

Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
MAX	10,47	-64,26	0,0	0,0000	0,0000	0,0128
Узел	1772	1772	1772	1772	1772	1772

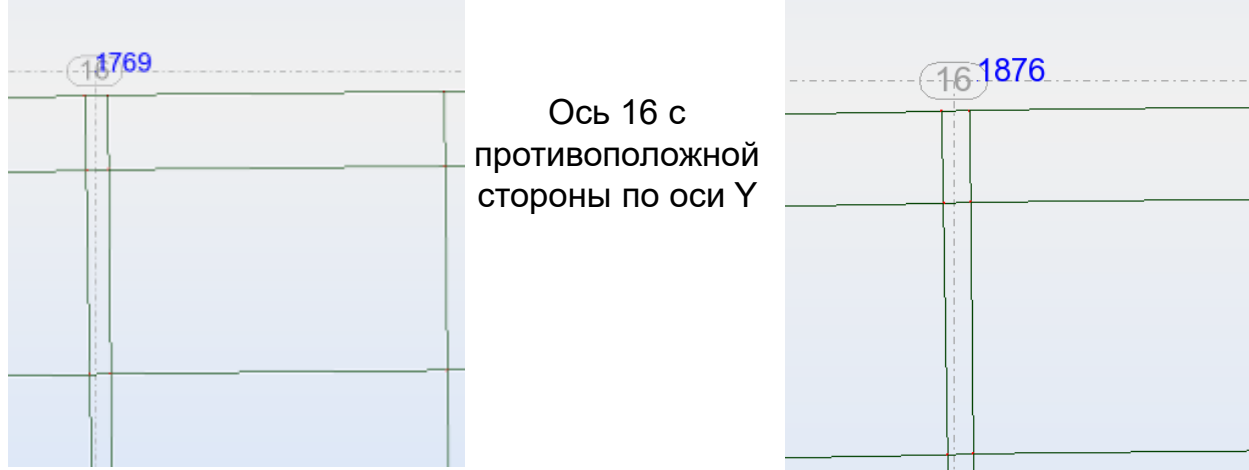
Огибающие | Глобальные экстремумы

Разница в значениях перемещений по оси X меньше 1 мм, по оси Y 5,32 мм

# Мониторинг уникальных подземных сооружений системы водоотведения

## Фрагменты конструкторских расчетов

Оценка допустимого воздействия от строительства на тоннельный коллектор



Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
<b>MAX</b>	-10,44	-26,32	0,0	0,0000	0,0000	0,0128
<b>Узел</b>	1769	1769	1769	1769	1769	1769

Огибающие | Глобальные экстремумы

Перемещения:1 - Нагружение: 5 (COMB1)

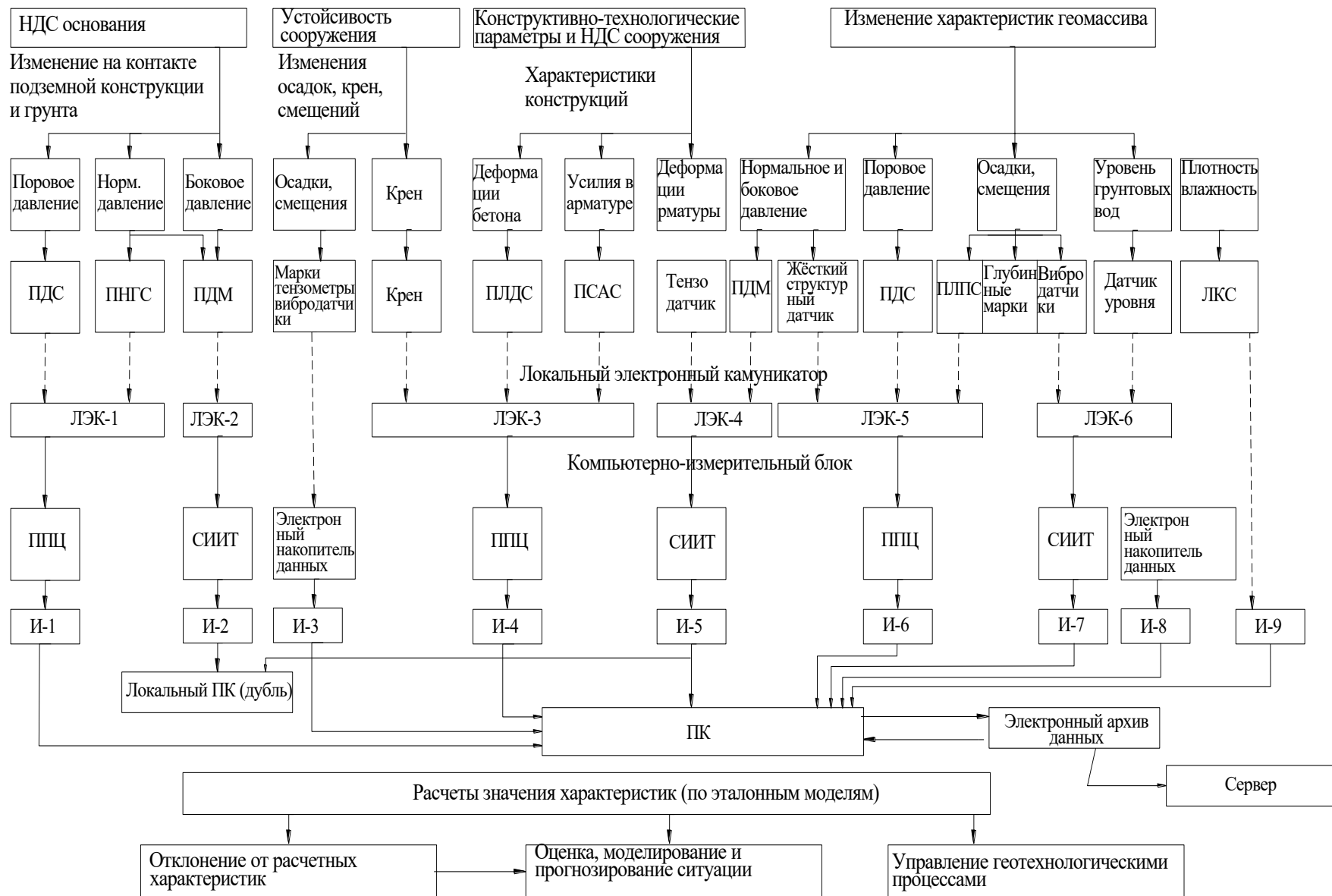
	UX (мм)	UY (мм)	UZ (мм)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
<b>MAX</b>	-6,27	-25,30	0,0	0,0000	-0,0000	0,0076
<b>Узел</b>	1876	1876	1876	1876	1876	1876

Огибающие | Глобальные экстремумы

Разница в значениях перемещений по оси X 4,17 мм, по оси Y 1,02 мм



## Схема геомониторинга



# ПРИМЕР КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ ТКК ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА ПО ТЕХНОЛОГИИ САТУРН



# ПРЕЗЕНТАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ РУКОВОДСТВУ ГОРОДА



1. Продолжить исследования и использовать уже имеющийся научной потенциал и наработки ПГУПСА по обеспечению внедрения системы управления бездефектным жизненным циклом уникальных подземных сооружений водоотведения с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ), как весьма важных в жизнеобеспечении и техносферной безопасности объектов капитального строительства, инженерной и социальной инфраструктуры города-мегаполиса Санкт-Петербурга.
2. Предлагается адаптировать системы он-лайн лазерного сканирования для моделирования и мониторинга конструкционной безопасности уникальных объектов капитального строительства и социальной сферы Санкт-Петербурга.



Доклад закончен,  
спасибо  
за внимание!

+7-921-940-26-84

[perminov-n@mail.ru](mailto:perminov-n@mail.ru)

Перминов Николай Алексеевич