

УДК 624.15: 624.131

**Н.А. Перминов<sup>1</sup>, А.Н. Перминов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщений,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>НПФ «Транспецстрой», Санкт-Петербург, Россия

## **ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КРУПНЫХ ГОРОДОВ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ**

На основании более 30-летнего опыта строительства, реконструкции и эксплуатации подземной инженерной инфраструктуры мегаполиса разработана концепция, принципы формирования и функционирования системы геомониторингового обеспечения безопасности крупногабаритных колодцев и тоннельных коллекторов. Приводятся основные принципы формирования пространственно-временной структуры геомониторинга.

Описан опыт применения системы мониторинга и комплекса защитных мероприятий для обеспечения безопасности тоннельных коллекторов диаметром от 1,5 до 4,5 м и заглубленных от 7 до 70 м, находящихся в зоне геотехнического влияния подземного и высотного строительства. Приводится сопоставительный анализ расчетно-экспериментальных данных и результатов многолетнего мониторинга обеспечения безопасности подземных сооружений отвода и очистки сточных вод Санкт-Петербурга.

**Ключевые слова:** мониторинг, геотехнический анализ, объекты водоотведения, заглубленные сооружения, тоннели, геоэкологическая безопасность.

**N.A. Perminov<sup>1</sup>, A.N. Perminov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University of Railway Transport,  
Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>NPF "Transspetstroy", Saint-Petersburg, Russian Federation

## **GEOTECHNICAL ASPECTS OF SAFETY ASSURANCE FOR LONG-USED ENGINEERING INFRASTRUCTURE FACILITIES IN LARGE CITIES IN COMPLICATED GROUND CONDITIONS**

A more than 30-year experience of construction, rehabilitation and exploitation of a megalopolis's underground engineering infrastructure has been used to develop a concept and philosophy of establishing and operating the tunnel collector safety geomonitoring system. Described is the philosophy of building the space-time structure of the geomonitoring.

The article presents the experience of monitoring and taking protective actions aimed to ensure safety of the 1.5–4.5 m diam. tunnel collectors at the depth of 7–70 m, located in the zone affected by geotechnical influence of the underground and high-rise construction. A comparative analysis of calculated-experimental data and the results of the many-year monitoring aimed to ensure safety of the underground wastewater collection and treatment facilities in St. Petersburg is given.

**Keywords:** monitoring, geotechnical analysis, object of water disposal, deeply lying constructions, tunnels, geoecological safety

## **1. Система геомониторингового обеспечения строительства и эксплуатации инженерных подземных сооружений**

Система геомониторинга призвана обеспечить устойчивость инженерных сооружений градостроительной среды к внешним воздействиям и разработку превентивных мероприятий для исключения отрицательных воздействий на градостроительную среду в результате нарушения штатных эксплуатационных режимов функционирования инженерных систем.

Инженерная инфраструктура Санкт-Петербурга развивается в условиях возрастающих требований к экологии и рациональному использованию земельных ресурсов. При инженерном освоении подземного пространства такого мегаполиса особую актуальность приобретают разработки комплексных мероприятий по охране градостроительной среды от отрицательного техногенного воздействия. К таким разработкам относится геомониторинговое обеспечение техносферной безопасности.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации уникального комплекса очистных сооружений Санкт-Петербурга показал необходимость создания таких систем. Известно, что комплекс отвода и отчистки сточных вод Санкт-Петербурга включает более 110 подземных насосных станций. Канализационные коллекторы диаметром от 1,5 до 4,5 м имеют развитую сеть более 300 км и заглублены от 15 до 80 м. Возраст их 35–45 лет, проложены они в основном в одну нитку и имеют значительную степень износа. Главные насосные станции (ГНС) совместно с другими инженерными сооружениями при заглублении в грунт до 70 м и при сечении до 2000–3000 м<sup>2</sup> имеют площадь контакта боковой поверхности с грунтом до 150–200 тыс. м<sup>2</sup>, пересекают несколько (до пяти и более) водоносных горизонтов и существенно воздействуют на градостроительную среду. По данным анализа [1] почти в 60 % случаев деформации городской застройки обусловлены соседним строительством и влиянием инженерных систем.

По заданию ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в институте «Ленгипроинжпроект» совместно с ПГУПС разработана система геомониторингового обеспечения техносферной безопасности. В настоящее время идет ее поэтапное внедрение на строительстве и эксплуатации подземных инженерных сооружений города (рис.1).



Рис. 1. Система геомониторингового обеспечения техносферной безопасности строительства и эксплуатации подземных инженерных сооружений

Научно-производственной базой для апробации и внедрения разработанных институтом решений является постоянный и надежный партнер – научно-производственная фирма «Транспецстрой».

Основой для формирования пространственно-временной структуры геомониторинга и условий его функционирования являются: 1) программы комплексных расчетов и прогнозов изменения инженерно-геологических условий и НДС геомассива при различных режимах возведения сооружения; 2) система технических средств инструментальных наблюдений и контроля изменения отдельных элементов системы «сооружение – геомассив»; 3) информационно-измерительная система сбора, обработки, хранения и идентификации параметров (данных) наблюдений и контроля; 4) комплекс геотехнологических методов целенаправленного воздействия на массив грунта и сооружение.

## **2. Опыт использования геомониторинга при строительстве крупногабаритных сооружений**

На основе результатов натурных и расчетно-экспериментальных работ разработана и испытана комплексная система геотехнического обеспечения погружения опускных колодцев диаметрами 50 и 66 м при строительстве очистных сооружений в Санкт-Петербурге. Прорезаемая толща грунтов для объектов мониторинга характеризуется следующим: верхняя толща представлена четвертичными напластованиями до глубины 14,0–25,0 м (пески пылеватые средней плотности, водонасыщенные,  $E = 11$  МПа,  $C = 0$  МПа,  $\varphi = 30^\circ$ ; супеси пылеватые пластинчатые,  $E = 4$  МПа,  $C = 0,01$  МПа,  $\varphi = 15^\circ$ ; суглинки пылеватые слоистые текучепластичные,  $E = 9$  МПа,  $C = 0,025$  МПа,  $\varphi = 16^\circ$ ; суглинки пылеватые полутвердые с гравием, галькой,  $E = 14$  МПа,  $C = 0,028$  МПа,  $\varphi = 28^\circ$ ), нижняя – кровлей протерозойских глин дислоцированных твердых ( $E = 19$  МПа,  $C = 0,04...0,06$  МПа,  $\varphi = 18...21^\circ$ ).

В состав этой системы включены три комплекса: контрольно-измерительный комплекс; комплекс оценки и передачи сигналов для управления технологическими процессами; комплекс оперативного влияния на технологические процессы.

Измерительный комплекс (рис. 2–4) обеспечивал контроль пространственного положения, перемещения контура оболочки колодца и массива грунта. Он включал приборы пространственного ориентирования (светодальномеры, объемные отражатели, датчики измерения углов крена).

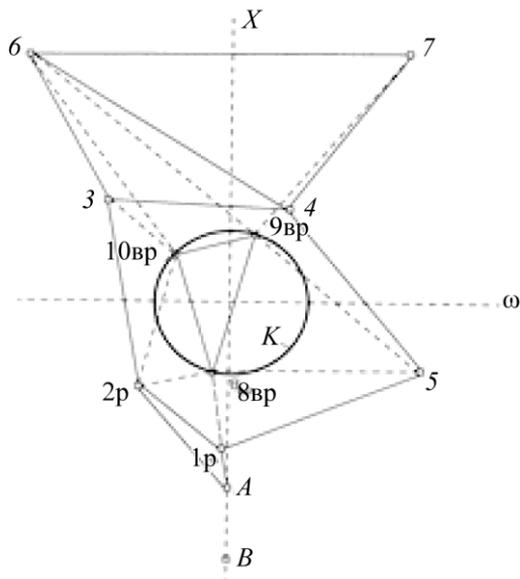


Рис. 2. Схема плановой сети геомониторинга: К – контур колодца; А, В – тригонометрические пункты; 1р, 2р – исходные пункты построения тригонометрической сети; 3–7 – постоянные пункты тригонометрической сети; 8вр, 9вр, 10вр – временные пункты на внутренней стене колодца

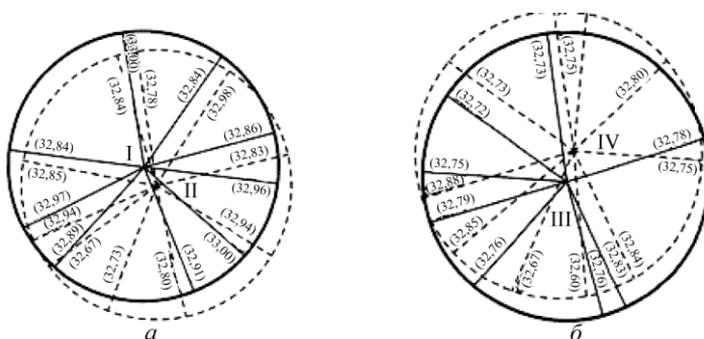


Рис. 3. Изменение радиуса R и смещение центра окружности колодца O по мере его погружения на глубину H: а, б – соответственно 6-й и 7-й ярусы бетонирования, расстояние от банкетки до верха яруса 34,5 и 40,5 м; I – для H = 17 м (сентябрь); II – для H = 29 м (декабрь); III – для H = 25 м (ноябрь); IV – для H = 29 м (декабрь); O (I–II) = 0,108 м; O (III–IV) = 0,234 м

Подсистема КНДС обеспечивала контроль параметров, характеризующих поведение системы «сооружение – геомассив» (рис. 5): напряженно-деформированное состояние грунта, оцениваемое по ре-

зультатам измерений контактных давлений, перемещений грунта (осадок); НДС материала конструкции, включая бетон и арматуру; крены сооружения и осадки грунтов на «активной» территории. Первичные преобразователи устанавливались в расчетных сечениях по контуру и ярусам.

Комплексы дискретно-непрерывной регистрации показаний датчиков включали в себя цифровой периодомер ПЦП-1; автономное интерфейсное устройство – К1-20; пульты дистанционного управления контроллеров; контроллер ПЦП, контроллер-коммутатор, контроллер ПК, ПЦП-коммутатор, контроллер ПДУ, коммутаторы-датчики).

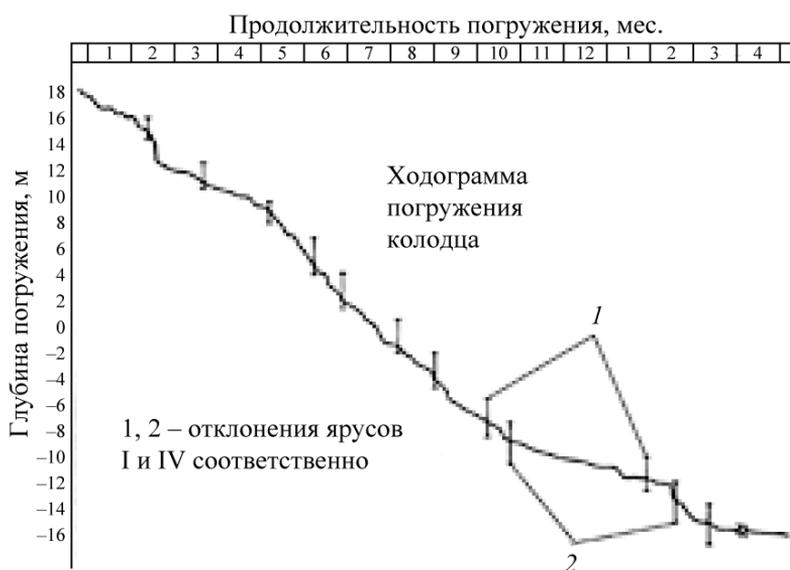
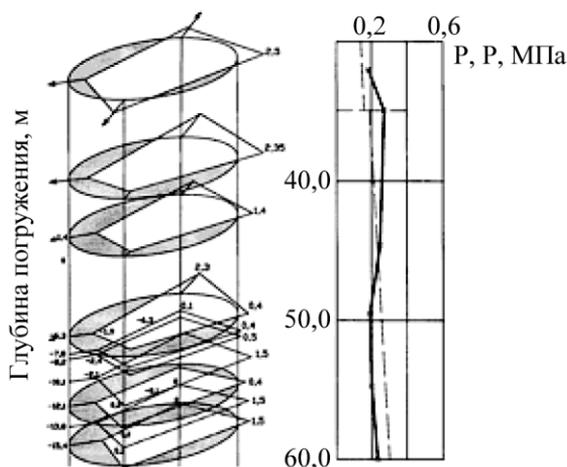


Рис. 4. Мониторинг при строительстве крупногабаритного опускного колодца КНС г. Санкт-Петербурга

На этапах возведения, отмеченных прогнозом наибольшими осложнениями («рисковыми» ситуациями), путем численных расчетов выбирались технически возможные геотехнологические методы: изменения НДС геомассива в основании сооружения или по боковой поверхности, устройство лидирующих скважин, снижение трения с помощью электроосмоса.



Данная система была успешно испытана на ряде объектов инженерной инфраструктуры, таких как «Мониторинг канализационного коллектора при устройстве свайного поля и нагружении свай в зоне строительства комплекса "Шкиперский рынок"», «Мониторинг канализационного коллектора при строительстве и реконструкции комплекса зданий и сооружений «Биржевой комплекс», «Мониторинг кирпичного свода коллектора по Конногвардейскому бульвару при выполнении работ по противоаварийным мероприятиям», «Мониторинг канализационного коллектора в зоне геотехнического влияния строительства ОДЦ "Охта-центр"» (рис. 8).

Исследование колебательного процесса коллектора осуществлялось с помощью комплектов датчиков СМ-3КВ, установленных в своде (рис. 9). Применение датчиков этого типа позволяет регистрировать колебания с амплитудой от 0,5 до 2000 мкм, с частотой от 2 до 200 Гц при погрешности не более 10 %. Датчики защищены от наводки внешнего поля, имеют температурный компенсатор, гидроизоляцию (для записи колебаний в воде), характеризуются минимальным взаимным влиянием (до 5 % ортогональных колебаний). Схема регистрации колебаний представлена на рис. 6.

В комплект включены датчики, позволяющих записывать вертикальную и две горизонтальные (ортогональные) составляющие амплитуд колебаний.

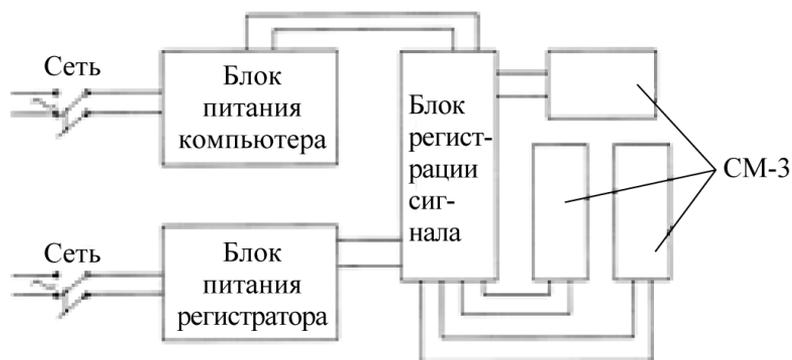


Рис. 6. Схема регистрации колебаний в своде коллектора

Мониторинг колебаний проводился непрерывно в период проведения строительных работ, в непосредственной близости от коллектора или с возведением подземной части строящегося объекта.

Обработка результатов велась по каждой составляющей амплитуд колебаний (рис. 7). В результате были получены средние и максимальные вероятные значения амплитуд колебаний. Уровень вероятности во всех случаях составил 0,995.

Мониторинг за состоянием канализационного коллектора при устройстве свайного поля и нагружении свай в зоне строительства комплекса «Шкиперский рынок» показал, что максимальные амплитуды смещений и скорости смещений грунта при изменении расстояния от источника колебаний описывается по степенной зависимости. Так, например, при устройстве свай на расстоянии 6–8 м от точки исследования амплитуды смещения  $A_{\max}$  и скорости смещения  $V_{\max}$  соответственно составляли: 30–70 мкм и 0,11–0,15 см/с, а при удалении на расстояние 20–25 м они снижались до уровня 1–2 мкм и 0,012–0,045 см/с, т.е. уменьшались в 25–30 раз.

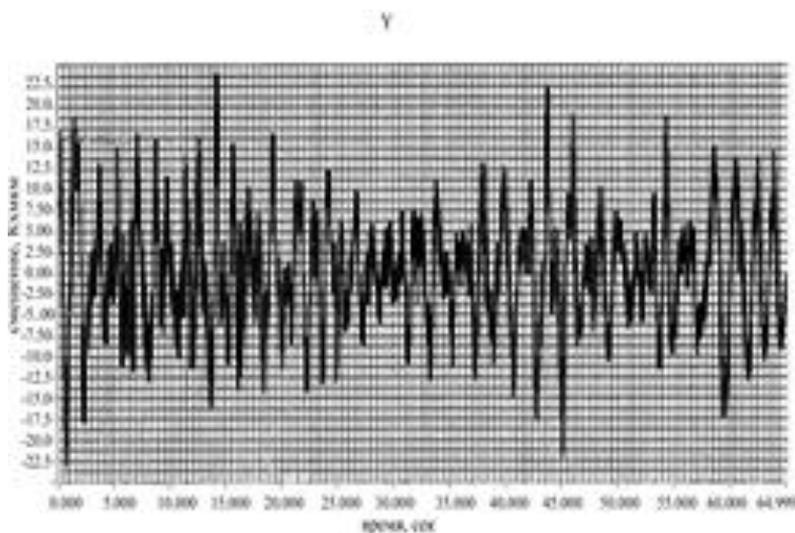


Рис. 7. Характерные записи колебательного процесса обделки коллектора

Данные, полученные в результате мониторинга, свидетельствовали о том, что в случае устройства свай по шадящей технологии с устройством лидерной скважины за критическое расстояние ее место-

погружения следует считать удаление от ближайшей точки коллектора в диапазоне  $L = 6 \dots 10$  м.



Рис. 8. Монтаж измерительной аппаратуры для геомониторинга коллектора

Для обеспечения этого условия была разработана конструкция свайного основания, воспринимающая внешнее воздействие от строящегося над коллектором многоярусного торгового центра.

Было установлено, что работы, которые проводились на строительной площадке, по устройству свайного поля в зоне трассы коллектора создавали определенный активный фон внешних динамических нагрузок, величина которых выше фоновых, но ниже требований инструкции и норм. Под воздействием этих нагрузок в конструкциях не возникали значительные инерционные процессы, следствием которых могли бы являться колебания системы «конструкция коллектора – грунтовый массив» в целом, раскрытие старых трещин и образование новых.

Для обеспечения устойчивости аварийного коллектора по адресу пересечение Конногвардейского бульвара и проезда Декабристов была разработана конструкция разгружающего арочного экрана и проведено усиление кирпичного свода коллектора структурным армированием.



Рис. 9. Вибродатчик CM-3KB, установленный в своде коллектора

Анализ полученных результатов мониторинга позволил сделать вывод об увеличении жёсткости свода коллектора: после устройства противоаварийных мероприятий периоды собственных колебаний коллектора по ортогональным осям изменились соответственно с 0,12 и 0,54 с до 0,07 и 0,19 с, т.е. на 35–58 %.

Контроль смещения оси линейного сооружения на выбранной базе и динамика раскрытия трещин осуществлялась с помощью датчиков линейного перемещения магнитно-стрикционного типа BTL5-T110-V0050-P-103 с чувствительностью 1 мкр. Подсистема включала базовый блок-контроллер, блок связи, датчики со степенью защиты IP, специализированное программное обеспечение. Структура всей подсистемы позволяла без затруднений расширять ее возможности как по интервалу измеряемых смещений, так и по числу каналов измерения. Информация, поступающая с датчиков с заданным интервалом опроса, накапливалась в блоке памяти.

#### **4. Численное моделирование и мониторинг геотехнической системы «тоннельный коллектор – градостроительный объект – защитные мероприятия»**

Ранее [1–2] крупногабаритный подземный объект мониторинга представлялся с позиции системного подхода и методов оптимального управления в виде интегрированной геотехнической системы (ИГТС) – «подземное сооружение и его элементы – геологический объект (область геомассива вмещающая сооружение и взаимодействующая с ним) – градостроительный объект (фрагмент городской застройки,

ограниченный зоной активного влияния подземного строительства)». На основе средств численного моделирования и мониторинга создавались система и методы оптимизации геотехнологии защитных мероприятий.

Для объекта «ОДЦ-Охта» выполнялся мониторинг и геотехническое обоснование защитных мероприятий тоннельного коллектора диаметром 2250 мм, расположенного на глубине 14–15 м в текучепластичных тиксотропных суглинках. Коллектор находится в эксплуатации более 30 лет и по материалам технического обследования его состояние оценено как ограничено работоспособное.

Коллектор, находящийся в непосредственной близости от проектируемого комплекса «ОДЦ-Охта», попадает в зону его влияния как на этапе строительства, так и при эксплуатации. Для геотехнического обеспечения безопасности и мониторинга коллектора была произведена оценка влияния комплекса «ОДЦ-Охта» и разработаны методы его геотехнической защиты. При решении подобной задачи использовался метод конечных элементов и геотехнические пакеты Plaxis 3D Foundation, Plaxis 3D Tunnel и конструкторский пакет Robot 3D.

Строительные операции и устройство защитных мероприятий моделировались в виде шагов расчета и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Фазы численного моделирования

№ п/п	Описание шагов расчета
1	Первоначальное напряженно-деформированное состояние системы
2	Устройству защитных мероприятий
3	Сооружение стен в грунте
4	Сооружение свай и баррет
5	Поярусная разработка грунта с бетонированием перекрытий и дна
6	Заполнение объемов макетом здания и пригружение фундаментов (700 кПа для башни и 200 кПа для стилобата)

В качестве защитных мероприятий (рис. 10) моделировалось: полное грунтозамещение – *a*; частичное грунтозамещение – *б*; использование геотехнического барьера в виде защитной траншеи из тиксотропной пасты с утяжелителем ( $E = 2\text{--}3$  МПа;  $\gamma = 2,15\text{--}2,20$  т/м<sup>3</sup>;  $c = 50$ ;  $s = 0,003$  МПа;  $n = 0,48$ ) – *в*.

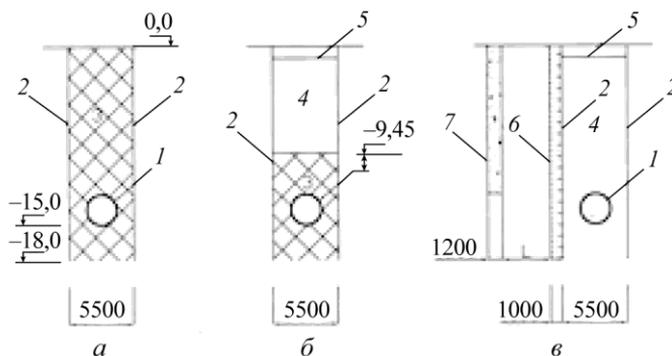


Рис. 10. Защитные мероприятия по снижению воздействия на коллектор: 1 – усиление конструкции тоннеля по технологии SPR; 2 – шпунтовые стенки Л-5 на длину защищаемого участка; 3 – закрепленный грунт  $E = 200$  МПа; 4 – существующие грунты; 5 – металлический обвязочный пояс; б – геотехнический барьер (тиксотропная паста с утяжелителем – барий); 7 – стена в грунте

В задачу численного моделирования в объектной постановке средствами Plaxis3D Foundation входила оценка пространственных деформаций и уровня напряжений в продольных сечениях обделки коллектора. Выбор данной модели обусловлен тем, что коллектор имеет криволинейную в плане трассу, а высотный комплекс зданий представлен неправильной формой (рис. 11).

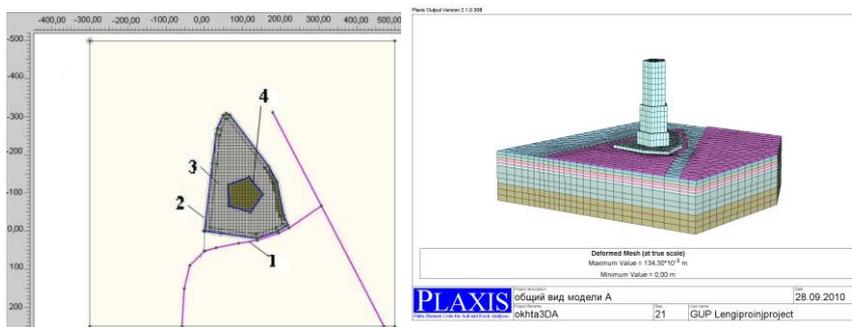


Рис. 11. Геометрия трехмерной модели комплекса (план и общий вид):  
1 – защищаемый коллектор; 2 – стена в грунте; 3 – стилобатная часть здания;  
4 – высотная часть здания

Пространственная модель представлена блоком размерами в плане  $800 \times 800$  м. В модели нижняя граница расположена на абсолютной отметке  $-170$  м, что обусловлено глубиной сжимаемости толщи в соответствии с геологией и нагрузками (рис. 12).

Number	Name	$\gamma_{bulk}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [ - ]	$E_{mod}$ [10 <sup>3</sup> kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{ult}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\mu$
1	ИПС 10 цементный	18,000	18,000	300,000	25,000	25,000	25,000
2	ИПС 10А цементный	18,000	18,000	300,000	30,000	1,000	23,000
3	ИПС 10	18,000	18,000	340,000	8,000	17,000	18,000
4	ИПС 10А цементный	18,000	18,000	360,000	7,000	8,000	32,000
5	ИПС 10Б цементный	18,000	18,000	360,000	6,000	7,000	6,000
6	ИПС 10А/4 цементный	18,000	18,000	360,000	6,000	30,000	31,000
7	ИПС 10_34	18,000	18,000	340,000	8,000	20,000	30,000
8	ИПС 10Б песок	21,300	21,300	300,000	30,000	6,000	34,000
9	ИПС 10Б глина	20,300	20,300	340,000	8,000	12,000	18,000
10	ИПС 10А глина	21,300	21,300	320,000	31,000	30,000	25,000
11	ИПС 11* глина для насып	21,300	21,300	340,000	40,000	250,000	17,000
12	ИПС 10* глина насып	20,300	20,300	340,000	180,000	340,000	26,000
14	ИПС 10* глина насып	20,300	20,300	340,000	250,000	600,000	32,000

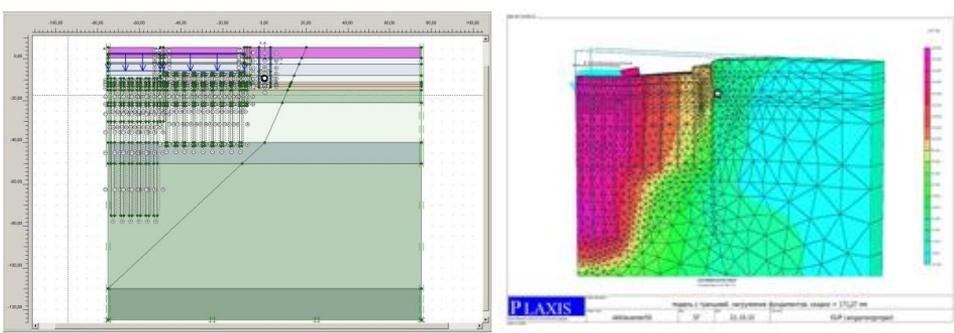
ID	Name	$\gamma_{bulk}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [ - ]	$E_{mod}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\mu_{max}$ [ - ]
12	ИПС 10	25,0	25,0	0,20	3,49E7	0,10
13	барреты	24,0	24,0	0,35	2E7	1,00
15	глин	22,5	22,5	0,35	1,5E7	1,00
17	бетонит	12,0	12,0	0,48	1,0	1,00
18	песчаник	2,0	2,0	0,35	5E6	0,10
19	рем16	16,0	16,0	0,45	3000,0	0,10
20	рем18	18,0	18,0	0,45	3000,0	0,10
21	рем20	20,0	20,0	0,45	3000,0	0,10
22	рем22	22,0	22,0	0,48	800,0	0,10
23	рем14	14,0	14,0	0,48	800,0	0,10
24	жидкий бетон	25,0	25,0	0,40	1000,0	1,00

а б

Рис. 12. Геологическая колонка (а) и параметры материалов (б)

На этапе приложения эксплуатационных нагрузок от комплекса высотных зданий деформации коллектора в зоне наибольшего приближения составили 62 мм, а осадки – 134 мм, при этом осевые силы имели диапазон изменений от +0,2 МН (растяжение) до –0,5 МН (сжатие), изгибающие моменты – до 2 МН·м.

Плоская модель (2D) служила для анализа влияния защитных мероприятий на коллектор и представляла собой схематизированные поперечные сечения комплекса высотных зданий и прилегающего коллектора. Расчетная модель представлена блоком размером 160×125 м (рис. 13).



а б

Рис. 13. Моделирование защитных мероприятий

Результаты моделирования представлены в табл. 2 и показывают, что защита траншеи обеспечивает снижение не только вертикальных, но и горизонтальных деформаций. Общее снижение деформаций наблюдается более чем в 3 раза.

Таблица 2

## Смещение коллектора на этапах строительства

Этап разработки	Мера защиты*	Смещения, мм		
		х	у	полные
Разработка первого яруса с бетонированием плиты перекрытия	Траншея ГТБ	-3,99	+2,10	4,46
	нет	-5,38	+1,39	5,45
Разработка второго яруса с бетонированием плиты перекрытия	Траншея ГТБ	-2,89	+7,04	7,43
	нет	-12,97	+15,34	20,07
Разработка дна котлована с одновременным бетонированием днища	Траншея ГТБ	-7,59	+23,87	24,77
	нет	-11,17	-35,95	37,57
Пригрузка макета здания	Траншея ГТБ	-6,66	-20,08	23,39
	нет	-30	-60,26	67,22

\*ГТБ – геотехнический барьер

Критерием сохранности конструкции служат предельно допустимые деформации и предельно допустимые колебания коллектора, обеспечивающие виброустойчивость вмещающего коллектор массива грунта. Предельно допустимые деформации и величины допускаемых смещений в зависимости от длины деформируемого участка тоннельного коллектора рассчитывались по программе Robot Structural Analysis Professional 2009 для различных участков коллектора (рис. 14).

Мониторингом предусматривалось, чтобы значения смещений обделки коллектора не превышали расчётных значений, представленных на графике (рис. 15).

Результаты численного моделирования и мониторинг геотехнической системы «тоннельный коллектор – градостроительной объект – защитные мероприятия» использована при разработке защитных мероприятий в зоне геотехнического влияния строительства «ОДЦ-Охта» и может быть рекомендована для других крупномасштабных уникальных объектов, строящихся в зоне расположения тоннельных коллекторов.

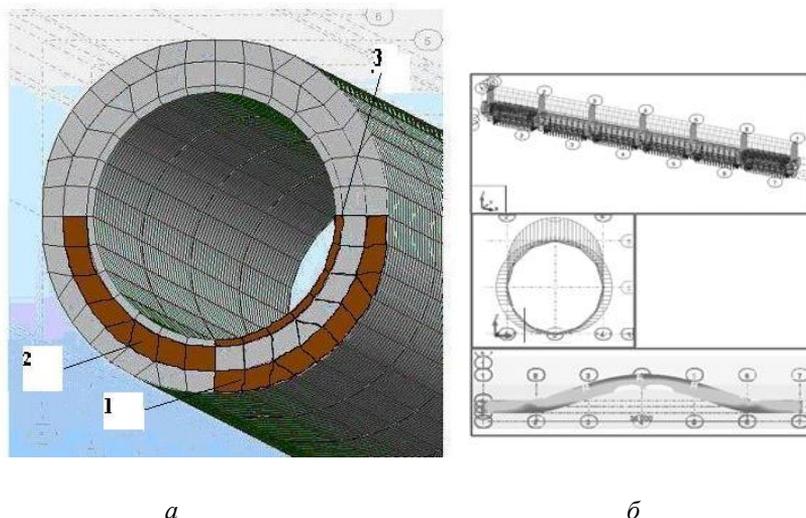


Рис. 14. Фрагмент расчетной схемы (а) и моделирование предельно допустимых деформаций коллектора-(б): 1 – тубинги коллектора; 2 – железобетонная рубашка; 3 – слой усиления по технологии SPR

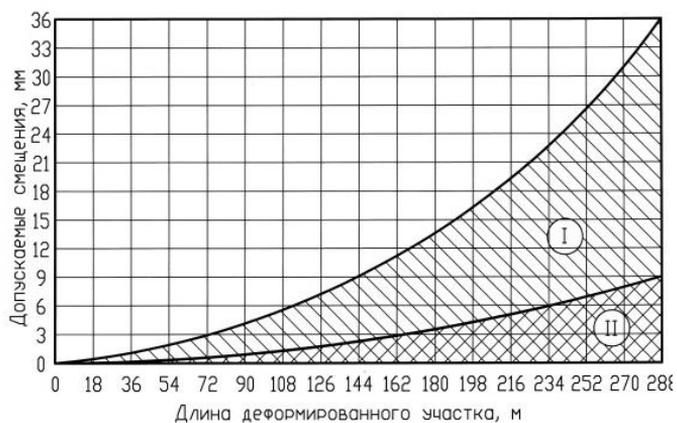


Рис. 15. Величина допускаемых смещений обделки коллектора в зависимости от длины деформируемого участка: I – мониторинг «коридора безопасности» смещений коллектора с усилением обделки; II – исходное состояние коллектора без усиления

Система геомониторингового обеспечения техносферной безопасности строительства и эксплуатации тоннельных коллекторов, принципы её формирования и функционирования призвана обеспечить надежность, безопасность и экономичность строительства подземных сооружений. В одних случаях она может быть успешно применена при

инженерном освоении подземного пространства мегаполиса, когда необходимо обеспечить охрану градостроительной среды от отрицательного технического воздействия; в других, наоборот, – обеспечить сохранность возводимого подземного точечного или линейного сооружения от изменения условий воздействия градостроительной среды или других внешних факторов.

### Библиографический список.

1. Перминов Н.А. Комплексное геотехническое сопровождение строительства крупногабаритных заглубленных сооружений при сохранении памятников и исторических мест крупных городов, Viggiani (ред.). -Balkema, Роттердам, 2007, ISBN 9054108711

2. Перминов Н.А., Ломбас С.В. Комплекс геотехнического и мониторингового сопровождения при строительстве заглубленных сооружений в мегаполисе // Геотехнические проблемы конструирования больших сооружений и уникальные проекты: Интернац. геотехн. конф., посвященная году России в Казахстане, 23–25 сентября 2004. – Алматы, 2004. – С. 347–351.

3. Перминов Н.А. Опыт геомониторинга тоннельных коллекторов // Геотехнические проблемы мегаполисов. – М., 2010. – С. 218–224.

### References

1. Perminov N.A. Comprehensive geotechnical support for the construction of large edifices as part of St.Petersburg. *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites*, Viggiani (ed.), Balkema, Rotterdam, 1997.

2. Perminov N.A., Lombas S.V. Kompleks geotekhnicheskogo i monitoringovogo soprovozhdeniya pri stroitel'stve zaglublennykh sooruzhenij v megapolise [Complete geotechnical and monitoring services for the construction of the underground structures in a megapolis]. *Geotechnical problems on construction of large –scale and unique projects. Proceedings Of International Geotechnical Conference dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan, 23–25 September 2004*. Almaty, 2004, pp.344-351.

3. Perminov N.A. Opyt geomonitoringa tonnel'nykh kollertorov [Experience of tunnel collectors monitoring]. *Geotechnical challenges in megacities*. Moscow, 2010, pp. 218-224.

### **Об авторах**

**Перминов Николай Алексеевич** (Санкт-Петербург, Россия) – Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщений (perminov-n@mail.ru).

**Перминов Александр Николаевич** (Санкт-Петербург, Россия) – НПФ «Транспецстрой» (anperminov@mail.ru).

### **About the authors**

**Perminov Nikolay Alekseevich** (Saint-Petersburg, Russian Federation) – Saint-Petersburg State University of Railway Transport (perminov-n@mail.ru).

**Perminov Aleksandr Nikolaevich** (Saint-Petersburg, Russian Federation) – NPF “Transspetstroy” (anperminov@mail.ru).

Получено 04.04.2014