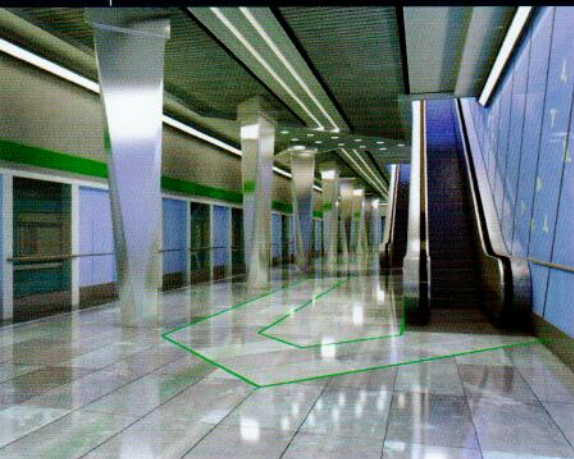
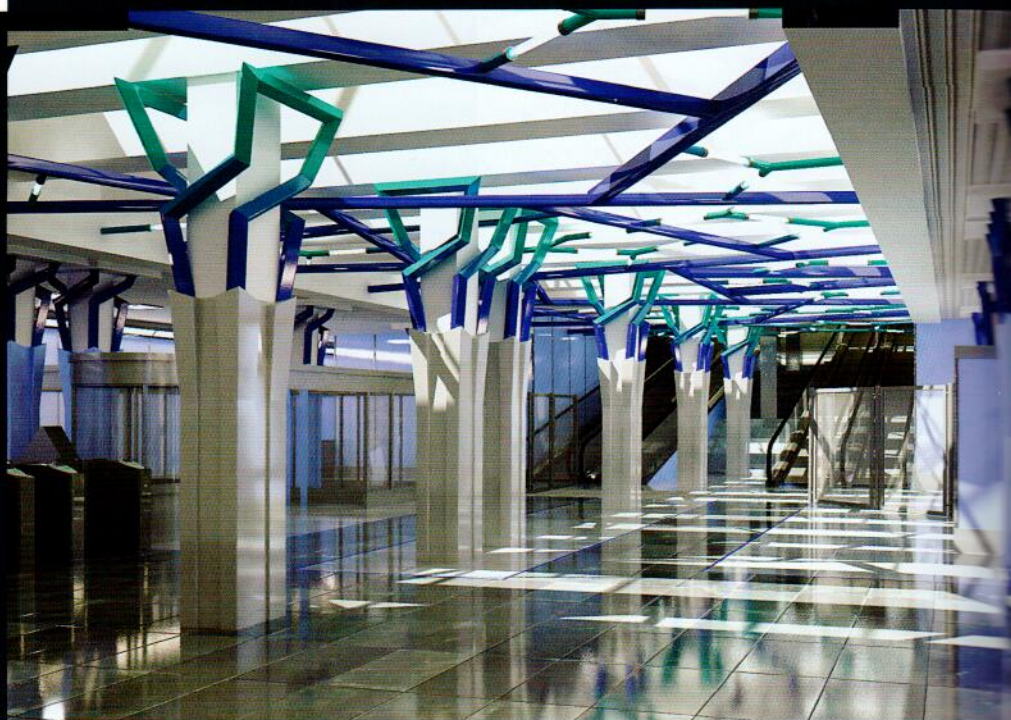


Санкт-Петербургский метрополитен по праву можно считать одним из символов современного научно-технического потенциала петербургских проектировщиков и строителей. Главной особенностью проектов, реализуемых здесь в настоящее время, является принципиально новый подход к решению архитектурных задач при создании подземных станционных комплексов.



М.О. ЛЕБЕДЕВ,
заведующий лабораторией,
кандидат технических наук,
доцент;

Д.А. БОЙЦОВ,
начальник архитектурно-строительного
отдела, кандидат архитектуры, доцент
(ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»)

Современные объемно- планировочные решения и геотехнический мониторинг

при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена

Например, для станционных комплексов мелкого заложения, строящихся на северо-западном участке Невско-Василеостровской линии метро и на юго-восточном продолжении Фрунзенского радиуса в районе Дунайского проспекта, разработаны принципиально новые объемно-планировочные решения и конструктивная схема, позволяющая реализовать максимально свободные и комфортные пространства для пассажиров в уровне подземных вестибюлей и посадочных платформ. Особенности такой конструктивной схемы является многоярусность сооружения, позволяющая оптимально эксплуатировать все подземное пространство, а также минимизация несущих опор, стен и колонн в пассажирской зоне.

Также заслуживают внимания подземные вестибюли метрополитена, проектируемые и строящиеся в настоящее время в историческом центре Санкт-Петербурга. Их бережная интеграция в подземное пространство на территории сформированной исторической застройки выпол-

няется в непосредственной близости от охраняемых памятников архитектуры и объектов культурно-исторического наследия.

Неотъемлемой частью технологического процесса строительства является геотехнический мониторинг, который позволяет в реальном времени получать информацию о состоянии системы и распределении усилий в проектируемых пространственных конструкциях, а также оценивать негативное влияние горных работ на безопасность при строительстве и своевременно предупреждать аварийные ситуации.

Развитие метрополитена глубокого заложения в центральной части Санкт-Петербурга и строительство новых участков метрополитена (но уже мелкого заложения) в спальных районах потребовали внедрения новых технологий, снижающих деформации дневной поверхности. Особенно актуальны-

ми эти требования стали для исторического центра города с наличием большого количества зданий и сооружений, представляющих культурную ценность и являющихся памятниками архитектуры. В таких условиях требования нормативных документов по абсолютным деформациям поверхности земли являются очень жесткими.

Инженерно-геологические условия строительства Санкт-Петербургского метрополитена являются весьма сложными. Верхние слои представлены четвертичными водонасыщенными отложениями, грунты совершенно неустойчивы. В этих грунтах располагаются подземные вестибюли и наклонные тоннели. Ниже четвертичных отложений, на глубине 40–60 м находятся кембрийские (протерозойские) глины, в которых располагаются станционные комплексы и перегонные тоннели.

За последние два десятка лет были внедрены новые технологии как по организации работ, так и по конструктивным решениям крепей и обделок, учитывающие мировой опыт строительства подземных сооружений и разработанные специально для Санкт-Петербургского метрополитена институтом ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» [1, 2].

Малоосадочные технологии строительства были реализованы при строительстве эскалаторных тоннелей [3–7] на станциях «Обводный канал», «Адмиралтейская» и «Спасская», которые по классической технологии с замораживанием грунтов вызвали наибольшие деформации поверхности. Также они были применены при строительстве горизонтальных тоннелей [1, 8] на юго-восточном продолжении Фрунзенского радиуса.

В Санкт-Петербурге впервые в отечественном метростроении был построен двухпутный перегонный тоннель между будущими станциями «Южная» – «Дунайский проспект» – «Проспект Славы» Фрунзенского радиуса. Он был создан при помощи тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК) с грунтопригрузом, трасса которого прошла в пределах четвертичных отложений.

Новые архитектурные формы, как правило, связаны с разработкой конструктивных решений, отличных от типовых. Для уточнения расчетных схем и выполнения поверочных расчетов на помощь приходят результаты геотехнического мониторинга в части определения напряженно-деформированного состояния горных пород, крепей и обделок подземных сооружений.

Наилучшее представление о формировании напряженно-деформированного состояния крепей и обделок позволяет получить комплексное применение датчиков (деформометров) внутри конструкций и измерение деформаций внутреннего контура начиная с момента их возведения.

На рис. 1 показано оснащение датчиками поперечного сечения станционного узла мелкого заложения, строящегося по новой для Санкт-Петербургского метрополитена технологии: строительство в открытом котловане с возведением постоянных несущих конструкций сверху вниз.

Сама технология не нова, по ней уже давно возводятся заглубленные части зданий и сооружений, но с учетом размеров станцион-

ного узла (180 м в длину и 40 м в ширину) и проходки двухпутного перегонного тоннеля через тело станции в процессе ее строительства этот пример является уникальным.

Станция колонного типа представляет собой многопролетную рамную монолитную конструкцию: т.е. в одном строительном объеме, ограниченном «стеной в грунте», расположены и платформенная часть станции, и вестибюли станции, а также все тех-

нологические помещения, кроме подземных переходов, лестничных спусков и вентиляционных каналов.

Сооружение этого типа станции начинается с возведения ограждающих конструкций по периметру станционного узла. Ограждающие конструкции сооружаются методом «стена в грунте». При этом участки «стены в грунте», через которые предполагается проходка перегонного

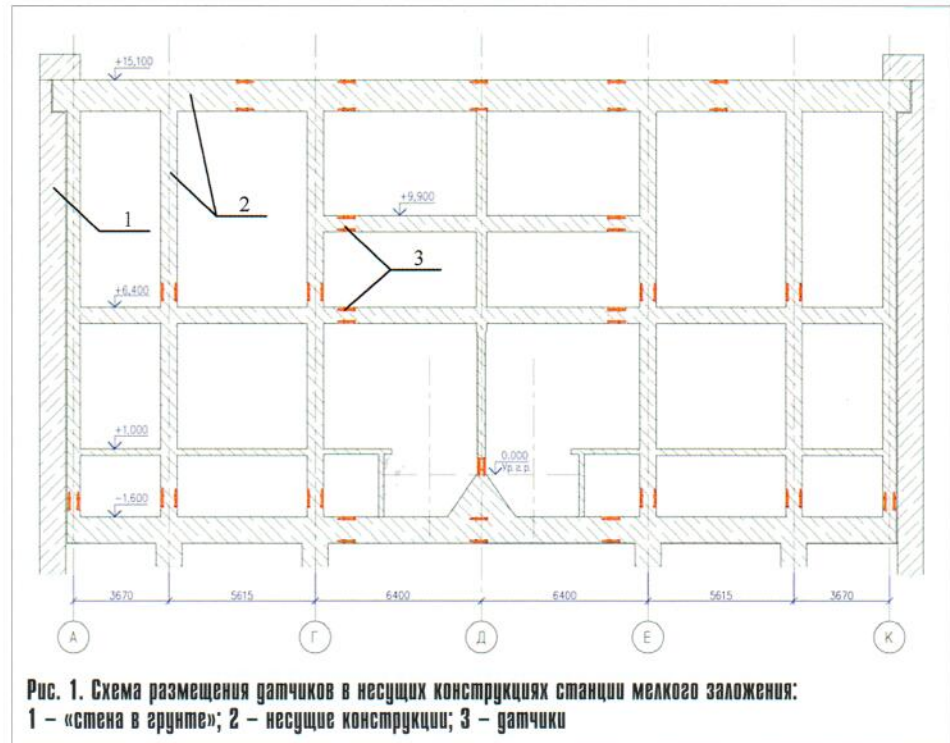


Рис. 1. Схема размещения датчиков в несущих конструкциях станции мелкого заложения: 1 – «стена в грунте»; 2 – несущие конструкции; 3 – датчики

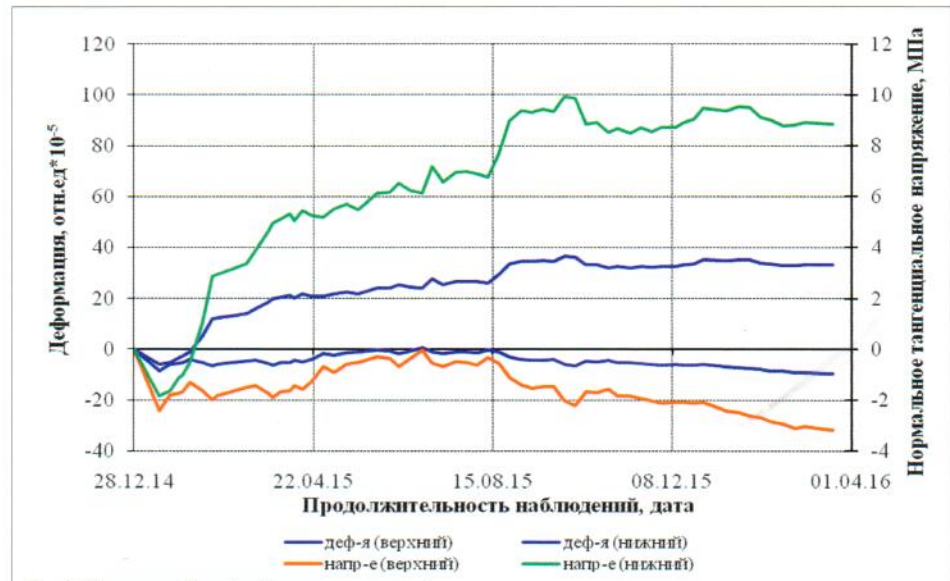


Рис. 2. Характерный график формирования усилий в конструкции перекрытия в сжатой и растянутой зоне бетона



Рис. 3. Возведение несущих конструкций станции мелкого заложения

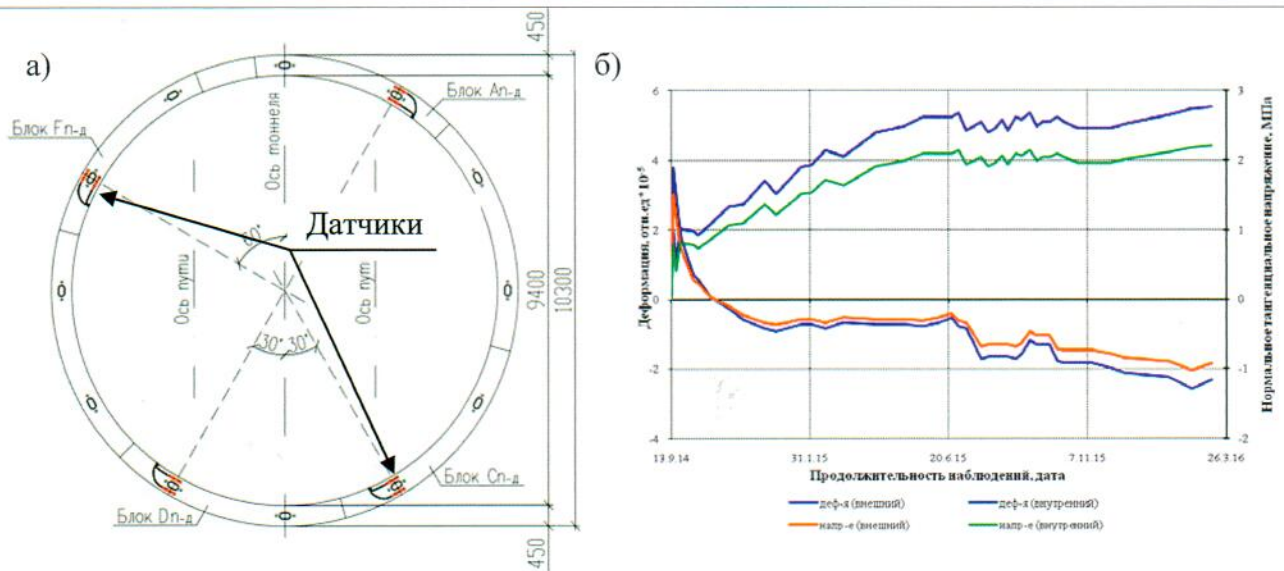


Рис. 4. (а) Схема размещения датчиков в обделке двухпутного перегонного тоннеля; (б) характерный график формирования усилий в обделке на внешнем и внутреннем контуре

тоннеля, выполняются с арматурой из композитных материалов для возможности вырезки указанного участка режущим органом ТПМК.

Внутри ограждающих конструкций сооружаются два ряда свай-колонн, для чего под защитой обсадной инвентарной трубы бурятся скважины диаметром 1 м. В скважины опускается арматурный каркас, в который в зоне размещения постоянного участка колонны установлена металлическая труба. Скважина бетонируется, обсадная труба извлекается.

После завершения работ по сооружению ограждающих конструкций и свай-колонн, а также после прохода ТПМК через тело станции производится разработка грунта с последовательным возведением несущих конструкций.

На рис. 2 представлены графики формирования усилий одного из узлов кон-

струкции перекрытия, по которым можно проследить все технологические этапы последующей разработки грунта на нижних этажах станции и возведения строительных конструкций (рис. 3).

Для протяженных подземных сооружений, таких, например, как перегонные тоннели, сопоставление величин напряжений в обделке с деформациями внутреннего контура для конкретного сечения позволяет с меньшими затратами оценить несущую способность на остальных участках тоннеля, ограничиваясь только контролем деформаций внутреннего контура.

Так, для двухпутного перегонного тоннеля, о котором было упомянуто выше, проведение геотехнического мониторинга позволило назначать наиболее оптимальные технологические параметры ведения ТПМК с грунтопригрузом для безаварий-

ной проходки по всей трассе. В зону влияния строительства попадали КАД (кольцевая автодорога), ж/д пути, здания и сооружения, трамвайные пути и автомобильные дороги.

Геотехнический мониторинг решал следующие задачи:

- контроль напряженно-деформированного состояния обделки;
- прогноз инженерно-геологических и гидрогеологических условий впереди забоя;
- контроль качества заполнения заобделочного пространства;
- автоматизированный мониторинг деформаций вмещающего массива;
- определение фактических деформационно-прочностных свойств вмещающего массива;
- геодезический контроль деформаций поверхности;

– мониторинг зданий и сооружений в зоне влияния строительства.

Для достоверного и достаточного определения напряженно-деформированного состояния системы «обделка – вмещающий массив» по трассе тоннеля датчики в обделке (рис. 4а) были размещены во всех литологических разностях, пересекаемых тоннелем. Полученные результаты исследований (рис. 4б) подтвердили правильность проектных решений.

Рассмотренный метод исследований был реализован при строительстве многих подземных сооружений с внедрением новых конструктивных, объемно-планировочных и технологических решений. Это строительство наклонных тоннелей Санкт-Петербургского метрополитена при помощи ТПМК; второй вестибюль станции «Спортивная»; комбинированная технология закрепления грунтов и монолитная железобетонная обделка наклонного тоннеля станции «Звенигородская»; строительство горизонтальных выработок с косвенным армированием лба забоя и внедрением набрызг-бетонных обделок и др.

Результаты исследований напряженно-деформированного состояния системы «обделка – вмещающий массив», выполняемых в рамках геотехнического мониторинга, ложатся в основу поверочных расчетов строительных конструкций для корректировки их геометрических и конструктивных параметров и технологии строительства, а также являются одним из важнейших факторов для снижения строительных рисков и рисков при эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Безродный К.П., Салан А.И., Маслак В.А., Лебедев М.О., Старков А.Ю., Морозов А.В., Уханов А.В. Реализация безосадочных технологий при строительстве петербургского метрополитена // *Транспорт Российской Федерации*. М., 2010. № 3 (28). С. 38–41.
2. Маслак В.А., Безродный К.П., Лебедев М.О., Марков В.А., Захаров Г.Р., Ледяев А.П., Старков А.Ю. Малоосадочные технологии при строительстве метро в историческом центре Санкт-Петербурга // *Метро и тоннели*. М., 2012. № 6. С. 28–32.
3. Маслак В.А., Безродный К.П., Лебедев М.О., Гендлер С.Г. Новые технико-технологические решения для строительства тоннелей метрополитена в условиях мегаполиса. // *Горный журнал*. М., 2014. № 5. С. 57–60.
4. Konstantin Bezrodny, Mikhail Lebedev, Grigory Yegorov. Construction of Escalator Tunnels of the St. Petersburg Subway. „SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Region“, ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly, May 22–28, 2015, Lacrova Valamar Congress Center, Dubrovnik, Croatia. PP. 20–22.
5. Безродный К.П., Маслак В.А., Марков В.А., Лебедев М.О., Старков А.Ю., Морозов А.В., Уханов А.В. Комбинированная технология стабилизации грунтов при сооружении эскалаторных тоннелей станций Петербургского метрополитена // *Метро и тоннели*. М., 2009. № 5. С. 35–37.
6. Безродный К.П., Лебедев М.О., Марков В.А., Старков А.Ю., Лаптев Н.А., Морозов А.В., Уханов А.В. Комплексный геотехнический мониторинг сопровождения строительства эскалаторных тоннелей в четвертичных водонасыщенных грунтах с помощью ТПМК // *Труды международной научно-технической конференции «Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных городов»*. М., 2011. С. 57–63.
7. Безродный К.П., Маслак В.А., Лебедев М.О., Лаптев Н.А. Геотехнический мониторинг на щитовой проходке наклонного тоннеля Санкт-Петербургского метрополитена // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. Выпуск 2. Тула: изд-во ТулГУ, 2010. С. 152–159.
8. Лебедев М.О., Маслак В.А. Натурные исследования при внедрении новых геотехнологий строительства тоннелей в условиях Санкт-Петербургского метрополитена // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Серия «Науки о Земле»*. Вып. 3. Тула, 2008. С. 96–99.
9. Лебедев М.О. Геотехнический мониторинг в технологическом процессе строительства подземных сооружений Санкт-Петербургского метрополитена // *Инженерная защита*. СПб., 2016. № 1(12). С. 14–21.



Транспортный состав для доставки блоков к ТПМК

