

Применение комплексных автоматизированных систем геотехнического мониторинга грунтового массива при проходке наклонных эскалаторных тоннелей метрополитена

А.Ю. Бауков, канд. техн. наук, нач. отдела мониторинга зданий и сооружений, ЗАО «Триада-Холдинг»; Москва

М.О. Лебедев, канд. техн. наук, зав. лабораторией геомеханических исследований, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»;

Санкт-Петербург **С.В. Павлов**, ведущий инж., ЗАО «Триада-Холдинг», Москва

Аннотация

В статье рассмотрен практический опыт применения современных автоматизированных систем геотехнического мониторинга грунтового массива при проходке наклонных тоннелей метрополитена механизированными тоннелепроходческими комплексами. В частности, информация, полученная с помощью сети наблюдательных скважин, оснащенных датчиками гидростатического давления (пьезометрами) и стержневыми экстензометрами, позволила оперативно выполнить защитные геотехнические мероприятия и исключить возникновение серьезных деформаций на поверхности.

Ключевые слова

Геотехнический мониторинг, компенсационное нагнетание, наклонный эскалаторный тоннель, пьезометр, стержневой экстензометр, тоннелепроходческий комплекс.

Abstract

The article provides a real-life experience of using modern automated systems for geotechnical monitoring of soil body during driving inclined metro tunnels with power-driven tunnel boring machines. In particular the data obtained from a network of inspection boreholes equipped with piezometers (ground water pressure gauges) and rod extensometers allowed to perform protective geotechnical operations without delay as well as to eliminate noticeable deformations at the surface over the tunnel.

Keyword

Control grouting, geotechnical monitoring, inclined escalator tunnel, piezometer, rod extensometer, TBM

Современное существование мегаполисов невозможно без развития транспортной инфраструктуры, в частности, метрополитена. Наиболее высокими темпами строительство объектов метрополитена в России осуществляется в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде.

Одной из наиболее сложных задач строительства метрополитена в условиях крупных городов (особенно в их центральных исторических частях) является проходка наклонных эскалаторных тоннелей. Наиболее перспективным методом возведения наклонных ходов метрополитена является проходка с применением механизированных тоннелепроходческих комплексов (ТПМК) и обделкой из сборных железобетонных элементов. Данная технология была впервые внедрена в России, и к настоящему моменту успешно реализовано уже несколько проектов (эскалаторные тоннели станций метро «Обводный канал», «Адми-

ралтейская» и «Спасская» в г. Санкт-Петербурге, два наклонных хода станции «Марьино» в г. Москве).

Несмотря на то, что способ щитовой проходки является по ряду характеристик более эффективным по сравнению с классическим методом проходки под защитой ледогрунтового ограждения, он имеет ряд серьезных недостатков.

Как показала практика, без отработки технологии и соответственно опыта строительства невозможно полностью исключить возникновение деформаций поверхности, способных привести к повреждениям зданий, расположенных над трассой тоннеля.

Качественное выполнение проходческих работ в значительной степени зависит от наличия максимально достоверной и оперативной информации о текущем напряженно-деформированном состоянии грунтового массива. Такую информацию можно получить, осуществляя комплексный автоматизированный геотехнический мониторинг.

Использование только традиционных методов мониторинга, таких как геодезические наблюдения за деформациями земной поверхности, измерение степени раскрытия трещин, кренов и осадок расположенных над трассой проходки зданий, не позволяет решить указанную задачу. Например, при ведении геодезических наблюдений за поверхностью есть возможность выявить процессы деформаций грунтового массива только в самый последний момент – когда смещения возникли уже по всей толще грунта. При этом эффективность противоаварийных мероприятий (например, компенсационное нагнетание в основание зданий) значительно снижается. Кроме того, периодичность ручных измерений не позволяет оперативно отслеживать процессы, происходящие в контролируемом грунтовом массиве.

Исходя из этого, для успешного мониторинга напряженно-деформированного состояния системы «тоннель – грунтовый массив» существует необходимость контроля деформаций по всей толще массива, причем в круглосуточном режиме с минимальными интервалами между измерительными циклами. Это позволит не только качественно выполнить в случае необходимости противоаварийные мероприятия, но и осуществить оперативную

корректировку технологического режима проходки, направленную на снижение деформаций окружающего грунтового массива.

Для решения указанной задачи специалистами ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» и ЗАО «Триада-Холдинг» была разработана и введена в эксплуатацию система геотехнического мониторинга, которая использовалась при проходке наклонных ходов станций метро «Адмиралтейская» и «Спасская» в г. Санкт-Петербурге.

Строительство эскалаторного тоннеля станции метро «Адмиралтейская» осуществлялось в сложных условиях плотной исторической застройки центральной части Санкт-Петербурга. Трасса тоннеля находится всего в не-



Рис. 1. В скважины заводились скрепленные временными фиксаторами связи из стеклопластиковых стержней с гидравлическими анкерами, гидравлических трубок и инъекционной трубки диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма для нагнетания раствора

скольких десятках метров от Невского проспекта. Непосредственно над тоннелем расположены три многоэтажных здания XIX в.

Инженерно-геологические условия проходки чрезвычайно сложны: разрез на глубину до 28 м представлен в основном слабыми, сильносжимаемыми, неустойчивыми отложениями. Ниже, до глубины около 46 м, залегают суглинки лужской морены тугопластичной консистенции, с линзами супесей текучей консистенции. На глубине 51-55 м прослеживаются межморенные ленточные и слоистые суглинки тугопластичной консистенции, характеризующиеся как сравнительно слабые, неустойчивые грунты.



Рис. 2. На реперную пластину в устье скважины устанавливаются струнные датчики смещения

И только с глубины свыше 55 м залегают относительно устойчивые котлинские глины.

Был разработан ряд мероприятий, направленных на максимальное снижение негативного влияния нового строительства на существующие здания [1], в частности:

- определение деформаций массива при помощи экстензометров;
- измерение гидростатического давления пьезометрами на разных глубинах;
- определение качества заполнения заобделочного пространства тампонажным раствором;
- отслеживание деформаций поверхности.

Эти элементы мониторинга дополняли друг друга и позволяли исключить возможные ошибки в интерпретации получаемых данных и, следовательно, в принимаемых решениях по корректировке технологических параметров ведения щита.

Для контроля послойных деформаций грунтового массива по всей трассе проходки были созданы наблюдательные скважины, оснащенные цельностержневыми экстензометрами. Кроме того, осуществлялся контроль гидростатического давления в массиве на различных глубинах.

Всего были оснащены 4 скважины с экстензометрами (максимальная глубина установки анкера 49 м) и 5 гидронаблюдательных скважин (максимальная глубина 52,5 м).

При использовании стержневых экстензометров с помощью струнного датчика смещений измерялось относительное движение между гидравлическим анкером, установленным в контролируемой скважине, и базовой точкой на поверхности. Деформации от анкера к датчику передавались через цельный стеклопластиковый стержень в защитной муфте. Система из нескольких экстензометров различной длины, установленных в одной скважине, позволила следить за послойными смещениями грунтового массива.

Предварительно собранные комплекты цельностержневых экстензометров (рис. 1-3) опускались в пробурен-

ные скважины под защитой бентонитового раствора. После активации всех анкеров на проектных глубинах осуществлялось замещение бентонитового раствора на специальный цементно-бentonито-золевый состав с регулируемой прочностью (разработка ЗАО «Триада-Холдинг»). Данный раствор, имеющий после отверждения схожие с окружающим грунтовым массивом свойства, обеспечил, с одной стороны, фиксацию стержней в скважине, а с другой – свободу передачи деформаций от грунтового массива к анкеру.

Для контроля гидростатического давления грунтового массива в зоне ведения строительства применялись струнные пьезометры, установленные в контрольных скважинах на разных глубинах. Они позволили отслеживать малейшие изменения гидростатического давления грунтового



Рис. 3. Устья скважин с экстензометрами и пьезометрами оснащаются ниже уровня дорожного покрытия

массива от воздействия ведущейся проходки тоннеля.

Все измерительные датчики (экстензометры и пьезометры) подключались с помощью кабельной линии к накопительному модулю, расположенному в центральном измерительном пункте на площадке строительства (рис. 4). Измерения велись круглосуточно в полностью автоматическом режиме. Для оперативного доступа к результатам мониторинга был организован удаленный защищенный паролем интернет-портал. Каждый авторизованный пользователь имел возможность отслеживать все контролируемые параметры в онлайн-режиме в виде графиков, схем и цветовых пиктограмм, отображающих текущее состояние каждого датчика (рис. 5). При возникновении внештатных ситуаций (резкое изменение гидростатического давления, увеличение скорости деформаций грунтового массива) данная система позволяет выполнять автоматизированное информирование пользователей с помощью рассылки электронной почты и sms-оповещений.

В процессе строительства наклонного хода при прохождении ТПМК слоя наиболее неустойчивых грунтов было зафиксировано формирование вертикальных деформаций в приконтурной зоне тоннеля непосредственно над



Рис. 4. Центральный измерительный пункт, находящийся на строительной площадке

режущим инструментом комплекса. Наибольшие скорости роста деформаций – до 18 мм в сутки – фиксировались в момент схода вновь смонтированного кольца с оболочки щита. Применение автоматизированной системы мониторинга грунтового массива позволило полностью контролировать динамику развития деформационных процессов (рис. 6). Причем одновременное наблюдение за положением стержней экстензометров, установленных на разных глубинах, предоставило возможность отследить распространение фронта вертикальных деформаций от зоны проходки до земной поверхности. На основе оперативных

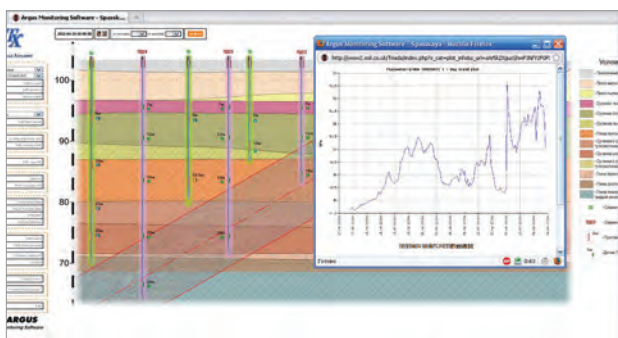


Рис. 5. Измеренные значения передаются на удаленный Интернет-сервер, предоставляющий авторизованным пользователям возможность просматривать данные через веб-браузер

результатов мониторинга принимались решения о проведении работ по компенсационному нагнетанию в основания зданий [2].

Необходимо отметить, что еще до начала проходки тоннеля в приповерхностной зоне была пробурена целая сеть вертикальных и наклонных скважин (из подвальных помещений зданий, а также с дневной поверхности), предназначенных для выполнения на первом этапе закрепления грунтов оснований, а на втором этапе – компенсационного нагнетания цементного раствора в толщу грунтового массива в случае возникновения в нем опас-

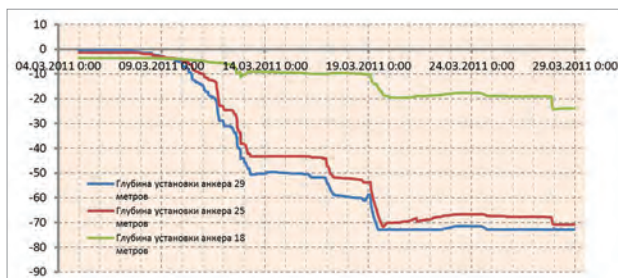


Рис. 6. Кривые формирования деформаций массива по одной из скважин, отражающие все операции технологического цикла

ных деформаций. Скважины располагались в основании зданий первой половины трассы тоннеля на участке теоретически рассчитанных максимальных деформаций грунтового массива, вызванных проходкой наклонного хода. В результате своевременно выполненные на основе данных мониторинга противоаварийные мероприятия (создание геотехнического барьера) позволили избежать возникновения опасных дефектов и деформаций в зданиях и сооружениях над тоннелем.

Данный пример показывает, что использование современных автоматизированных систем геотехнического мониторинга грунтового массива (в комплексе с традиционными методами контроля) при проходке тоннелей различного назначения, особенно в условиях городской застройки, является не формальной процедурой, обусловленной требованиями действующей нормативной документации, а эффективным элементом технологического процесса, позволяющим значительно снизить риски возникновения аварийных ситуаций, а также повысить эффективность защитных геотехнических мероприятий.

Опыт строительства наклонных ходов щитовым способом в Санкт-Петербурге силами СМУ-11, СМУ-13 и «Управления Механизации» ОАО «Метрострой» позволил добиться при строительстве третьего наклонного хода ТПМК с грунтопригрузом деформаций дневной поверхности в пределах 10–15 мм (против 80 мм при проходке первого), что можно считать практически безосадочной технологией в условиях пересечения трассой наклонного тоннеля большого числа разнородных (в том числе слабых и неустойчивых) геологических слоев.

Литература

1. Комплексный геотехнический мониторинг сопровождения строительства эскалаторных тоннелей в четвертичных водонасыщенных грунтах с помощью ТПМК / К.П. Безродный [и др.] // Труды междунар. науч.-тех. конф. «Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных городов». – М., 2011. – С. 57–63.
2. Безродный К.П., Лебедев М.О. Натурные исследования напряженно-деформированного состояния системы «обделка – массив» в составе горно-экологического мониторинга // Метро и тоннели. – 2011. – № 6. – С. 28–30.

Для связи с авторами:

Бауков Арсений Юрьевич, 8-917-579-0067, baukov@triadaholding.ru