

# Опыт применения автоматизированных систем мониторинга для тоннелей метрополитенов

ШЕВЧЕНКО А.А., зав. сектором, КОБЕЦКИЙ А.Д., инж., Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены», Москва; БОЕВ А.О., научн. сотр., Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены», асс. кафедры МТ и СК МАДИ, Москва

## Аннотация

*Рассмотрен передовой зарубежный опыт применения автоматизированных систем мониторинга технического состояния конструкций тоннелей метрополитена. Приведены примеры использования методов фотограмметрии и лазерного сканирования для автоматизированного поиска и анализа мест проникновения воды и дефектных участков.*

## Ключевые слова

*Автоматизированная система мониторинга, безопасность, беспроводные сенсорные сети, волоконно-оптическая система, лазерное сканирование, тоннель*

## Abstract

*The article describes the innovative foreign experience in the application of automated systems for monitoring the technical condition of the metro tunnels.*

*Examples of using photogrammetry and laser scanning methods for automated search and analysis of water penetration sites and defective areas are given.*

## Keywords

*Automatic monitoring system, fiber optic system, laser scanning, safety, tunnel, wireless sensor networks*

Возведение новых или реконструкция существующих городских объектов в технической и охранной зонах сооружений метрополитена может оказывать негативное влияние на напряженно-деформированное состояние его строительных конструкций. Это вызывает необходимость проведения геотехнического мониторинга [1] технического состояния конструкций метрополитена в процессе строительства с целью обеспечения эксплуатационной безопасности.

Как правило, мониторинг представляет комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за состоянием конструкций с использованием различных средств и приборов. Однако всё возрастающие объемы строительства, ужесточение требований к эксплуатационной работе метрополитена вызывают необходимость разработки и применения автоматизированных систем мониторинга.

В связи с этим в последние годы отечественные специалисты разрабатывают элементы информационного моделирования (Building Information Modeling, BIM) объектов транспортного строительства. Если в России только приступают к организации работы по созданию и внедрению BIM технологий, то во многих странах они эффективно применяются, в том числе используются системы автоматизированного мониторинга тоннелей.

Одной из таких систем является система мониторинга Systunnel – сенсорно волоконно-оптическая система дистанционного мониторинга напряженно-деформированного состояния тоннеля с максимальной автоматизацией процесса, основанная на технологии волоконной брэгговской решетки (Fibre Bragg Granting, FBG), которая выполняет измерения деформации и температуры по внутреннему контуру тоннеля.

Данная система применялась на железнодорожном тоннеле Tunnel Rossio (Лиссабон) и тоннелях метро Сан-Паулу (São Paulo's Metro Green Line) [2] при строительстве городских сооружений, влияющих на их несущие конструкции. Она представляла собой последовательно соединенные оптоволоконным кабелем датчики



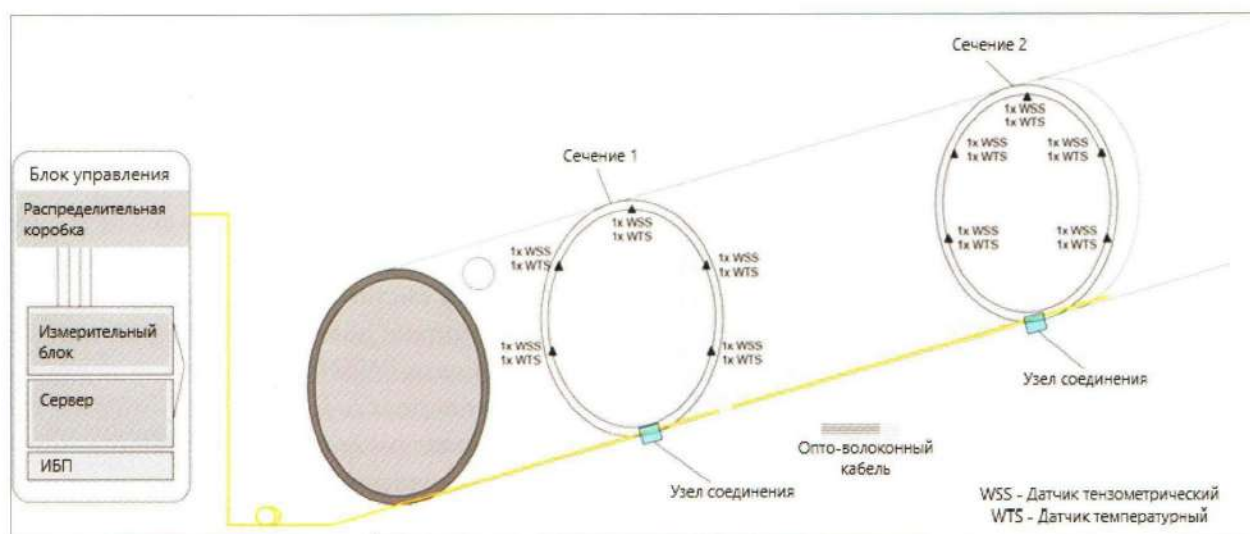


Рис. 1. Схема расположения и подключения датчиков деформаций (тензометров) и температуры в сечениях

напряжения и температуры, которые располагались в каждом сечении в соответствии со схемой на рис. 1.

Благодаря устойчивости к электромагнитным и радиопомехам датчики могут работать вблизи контактной сети, а их размеры и небольшой вес позволяют проводить мониторинг тоннеля, не уменьшая площади поперечного сечения.

Работоспособность данной системы дистанционного мониторинга была подтверждена сериями экспериментов в промышленном центре Гонконгского политехнического университета. Ошибка измерений по результатам эксперимента не превышала  $\pm 1,2$  мм, а относительная ошибка составляла 10%, за исключением случаев предельно малых значений [3].

С 2017 г. ведется внедрение датчиков FBG для мониторинга действующих железнодорожных тоннелей в материковой части Китая [3].

Кроме определения планово-высотных деформаций, в ходе проведения мониторинга требуется вести наблюдение за состоянием и размером дефектов, обнаруженных в ходе первичного обследования, а также за изменением геометрических размеров конструкций тоннеля.

В настоящее время в отечественной практике метод визуального осмотра является единственным способом выявления и контроля развития дефектных участков.

Выполнение инструментальной диагностики указанных дефектов с учетом мирового опыта возможно с применением метода фотограмметрии [4]. Система определяет дефект как геометрическую фигуру, затем программное обеспечение идентифицирует полученный контур и вычисляет его относительное местоположение. Для увеличения точности сканирования и возможности более точного расчета расстояний между точками на участке обследования устанавливаются марки для калибровки полученных результатов. Данный метод лег в основу создания системы обнаружения трещин на основе беспроводных мультимедийных сенсорных сетей (Wireless Multimedia Sensor Network) [5]. Повысить качество обследования (мониторинга) и сократить время, необходимое для выполнения этих работ, можно за счет лазерного сканирования, состоящего из визуальных и термографических записей поверхности тоннеля [6].

Результат сканирования представляет собой визуальную поверхность тоннеля в виде цифрового изображения и монохроматической фотографии высокого разрешения. Полученное изображение – это распределенный температурный спектр сканируемой поверхности (рис. 2). Сочетание визуального и теплового изображений становится надежным инструментом для поиска и анализа мест проникновения воды и дефектных участков.



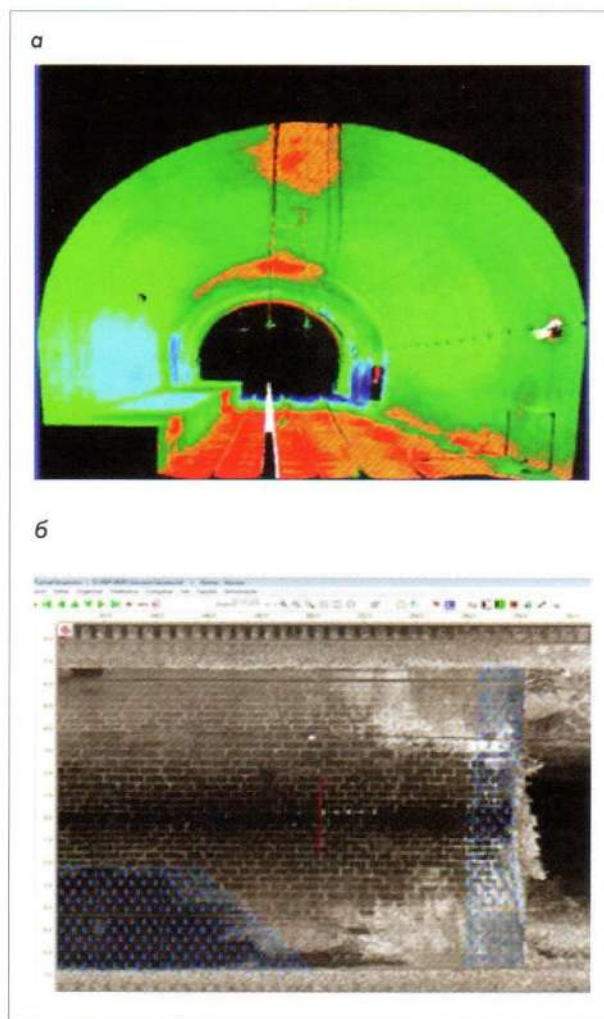


Рис. 2. Результаты сканирования в тепловом и монохроматическом видах: а – визуализация тепловых полей внутренних конструкций тоннеля; б – визуализация мест водопроявлений по тоннельной обделке

Полученные результаты сканирования служат для регистрации и составления базы данных обнаруженных трещин, инфильтрации воды и других аномалий и используются при планировании ремонтно-восстановительных работ.

Приведенный зарубежный опыт применения различных методов проведения мониторинга эксплуатируемых тоннелей может лечь в основу разработки отечественной системы автоматизированного мониторинга для обеспечения сохранности тоннельных сооружений.

В настоящее время в филиале АО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены» ведется разработка дорожной карты создания отечественной системы автоматизированного мониторинга

технического состояния подземных сооружений как одного из элементов их жизненного цикла.

Данная система должна основываться на применении передовых автоматизированных технологий, обеспечивающих эффективность и эксплуатационную безопасность действующих подземных сооружений, для последующей ее интеграции в систему «Умный город» [7]. Основой интеграции должны стать беспроводные сенсорные сети (WSN), которые могут позволить контролировать и передавать данные об изменении различных параметров технического состояния тоннельных конструкций и на основе BIM-технологий формировать общую базу данных в виде цифровой модели подземного сооружения, что позволит обеспечить управление жизненным циклом объекта.

#### Литература

1. СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве.
2. Fibre Bragg grating system for continuous large-scale monitoring of convergence in Rossio Tunnel / C. Barbosa [et al.] // The 20th International Conference on Optical Fibre Sensors (OFS20), Edinburgh, 5–9 October 2009. – 2009.
3. A New Railway Tunnel Deformation Monitoring System using FBG Bending Gauges / Chao Zhang [et al.] // The 2017 World Congress on (ASEM17), Seoul, Korea. – 2017.
4. Visual change detection on tunnel linings / S. Stent [et al.] // Machine Vision and Applications. – 2016. – Vol. 27. – Issue 3. – P. 319–330.
5. Wireless Multimedia Sensor Network Based Subway Tunnel Crack Detection Method / Bo Shen [et al.] // Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2015. – Vol. 11.
6. Rui Malva. The Inspection, Monitoring and Diagnosis of Tunnels // Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 – Tunnels for a better Life. – Foz do Iguaçu, Brazil.
7. Волков А. А. УМНЫЙ ГОРОД / SMART CITY: новая парадигма & наука созидания // Строительные кадры. – 2018. – № 11 (1678). – С. 3.

#### Для связи с авторами:

Антон Алексеевич Шевченко, 8-916-505-12-46,  
ShevchenkoAA@tsniis.com