

УДК 622.831

Безродный Константин Петрович

ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Россия, Санкт-Петербург¹

Заместитель генерального директора по науке

Доктор технических наук

E-Mail: besrodny@lenmetro.ru

Лебедев Михаил Олегович

ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Россия, Санкт-Петербург

Заведующий лабораторией

Кандидат технических наук

E-Mail: lebedev-lmgt@yandex.ru

Горно-экологический мониторинг при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей Северного Кавказа

Аннотация. Горно-экологический мониторинг является неотъемлемой частью технологического процесса строительства и эксплуатации транспортных тоннелей. В Российской Федерации необходимость проведения мониторинга предусмотрена нормативно-технической документацией, утвержденной федеральными органами власти. Горно-экологический мониторинг при строительстве транспортных тоннелей решает геотехнические и геоэкологические задачи, основной целью которых является безопасность ведения горнопроходческих работ и снижение негативного влияния на окружающую среду. Геотехнические задачи решаются геофизическими, геомеханическими и геодезическими методами. Прямые и косвенные методы определения контролируемых параметров позволяют с достаточной точностью прогнозировать инженерно-геологические условия впереди забоев тоннелей, определять качественные и количественные показатели напряженно-деформированного состояния системы «обделка - массив», определять фактические деформационно-прочностные свойства вмещающего массива, деформации вмещающего массива от контура тоннеля до дневной поверхности, предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздушной среде, воде и отвалах.

Получаемые результаты мониторинга позволяют в процессе строительства корректировать технологические параметры горнопроходческих работ, разрабатывать рекомендации по снижению негативного влияния на окружающую среду.

В перечень работ по обеспечению эксплуатации функциональных тоннельных систем должен обязательно включаться горно-экологический мониторинг. Примером успешной интеграции мониторинга в систему АСУ ТП являются тоннели на участке «Адлер – Альпика-Сервис».

Ключевые слова: мониторинг; строительство; эксплуатация; обделка; массив; деформации; напряжения; прогноз; геология; экология; тоннели; безопасность; технология; рекомендации.

¹ Россия, 191002, Санкт-Петербург, Большая Московская ул., д.2

Горно-экологический мониторинг при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей Северного Кавказа

Горно-экологический мониторинг [1], необходимость и регламент которого определены Федеральным законом Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" и «Временным положением о горно-экологическом мониторинге», утвержденным в 1996 году Министерством природных ресурсов РФ, Госгортехнадзором и Госкомэкологии России, является обязательным для всех министерств, ведомств, организаций, граждан-предпринимателей, осуществляющих проектирование, строительство, реконструкцию и эксплуатацию предприятий, организаций по добыче и переработке минерального сырья, а также использующих недра в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых на территории Российской Федерации, ее континентального шельфа и особой экономической зоны.

В развитие этого положения было разработано «Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей», вошедшее в реестр обязательных нормативных документов Ростехнадзора.

Руководствуясь этими документами, были разработаны проекты горно-экологических мониторингов сопровождения строительства и эксплуатации тоннелей трассы Адлер - Альпика-Сервис и Туапсе-Адлер.

В состав геотехнического сопровождения входят:

- геодезическо-маркшейдерские наблюдения;
- сейсмологические наблюдения;
- сейсмометрические исследования;
- геофизические исследования;
- геомеханические исследования;
- гидрогеологические наблюдения;
- оценка устойчивости оползневых склонов.

Система экологического мониторинга включает:

- источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- источники сброса загрязняющих веществ в поверхностные воды;
- воздействие образующих отходов;
- состояние загрязнения почв;
- состояние загрязнения подземных вод.

Наибольшее влияние на природу оказывает буровзрывной способ. На рис.1 представлено влияние технологических процессов на окружающую среду (ОС) при этом способе работ.

При сооружении железнодорожных и автодорожных тоннелей линии «Адлер – Альпика-Сервис», а также при реконструкции железной дороги Туапсе-Адлер во время строительства тоннелей проводили горно-экологический мониторинг, геотехническая его часть состоит из:

- прогнозы инженерно- и гидрогеологических условий впереди забоев тоннелей;
- оценки устойчивости призабойных участков тоннелей;

- определения напряженно-деформированного состояния крепей и обделок;
- определения фактических деформативно-прочностных свойств вмещающего тоннель массива;
- исследований водопроявлений;
- определения деформаций земной поверхности;
- корректировка проектных решений на основании данных геотехнического мониторинга;
- оценка устойчивости оползневых склонов.

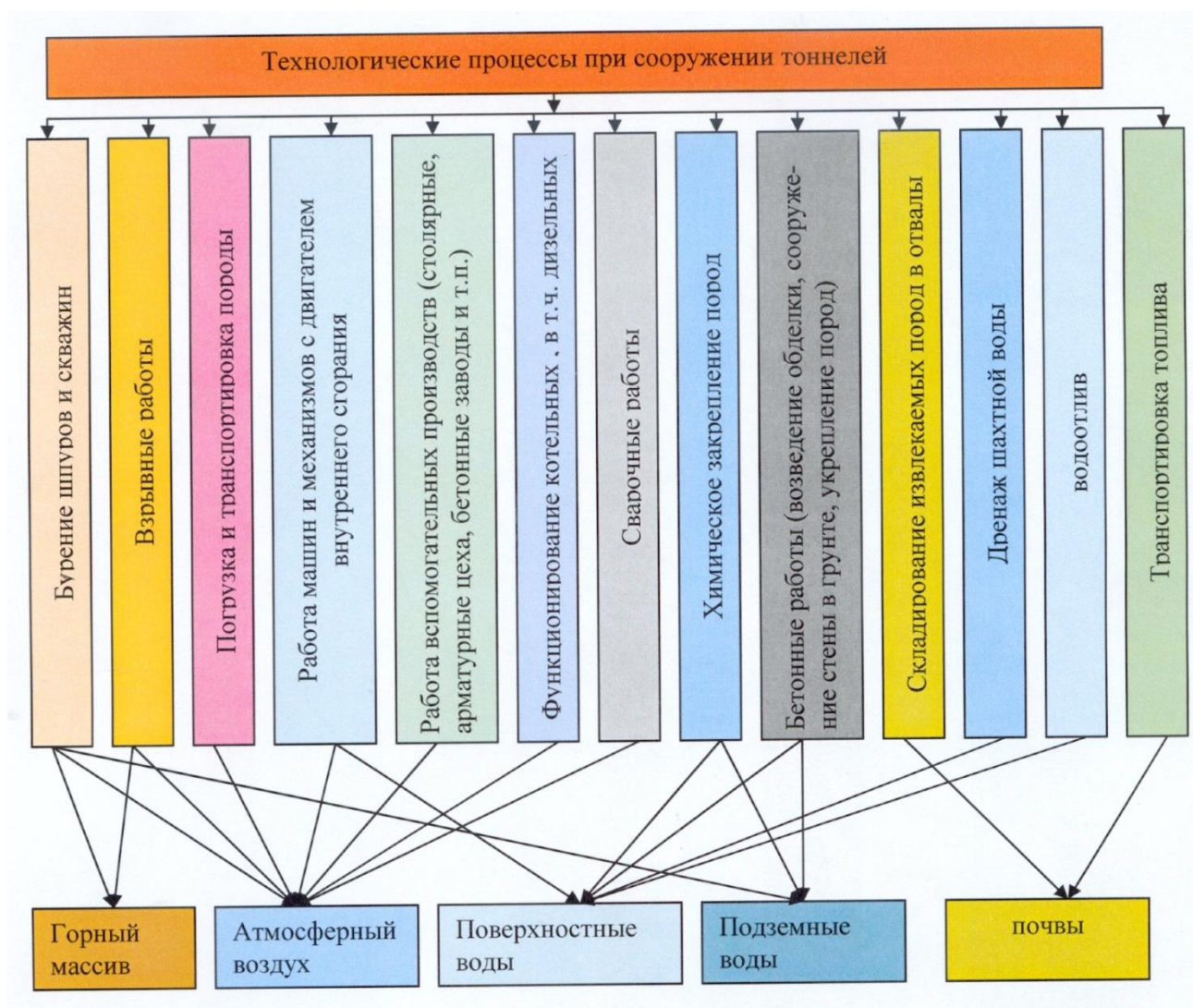


Рис.1. Влияние технологических процессов на окружающую среду

Прогноз инженерно-гидрогеологических условий впереди забоев тоннелей осуществляется с помощью электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования.

Метод ЭМИ СШП зондирования является разновидностью георадиолокационного метода, основан на восстановлении изображения структуры в разрезах горного массива или

инженерного сооружения по отраженному сигналу при распространении электромагнитного импульса наносекундной длительности.

Метод ЭМИ СШП зондирования позволяет дифференцировать геологические структуры до глубины исследования 100м и более. Точность определения положения слоев в разрезах составляет порядка 1% от их истинной глубины залегания.

Весь комплекс полевой аппаратуры может питаться от постоянного напряжения 12 В. Потребляемая мощность не более 150Вт. Вес комплекса порядка 15кг.

По результатам измерений в одной точке зондирования строится инженерно-геологическая колонка. Представительный разрез объекта составляется на основе определенного количества точек (пунктов) зондирования. Аппаратура геофизического комплекса обеспечивает регистрацию отраженного электромагнитного сигнала от различных литологических разностей не только при измерениях на поверхности грунтов, но и при изысканиях через лед и воду, а также через чугунные и железобетонные тубинги обделки тоннелей.

Обработка и интерпретация сигналов, построение изображения объекта является наиболее сложной и трудоемкой процедурой метода СШП зондирования.

Записанный отраженный сигнал подвергается математической обработке специализированной компьютерной программой. Далее обработанный сигнал сравнивается с имеющейся базой данных различных сред и проходит предварительную идентификацию компонентов, входящих в данный разрез. После идентификации производится построение двумерного (рис.2) или трехмерного (блок-диаграмма) отображения объекта.

Прогнозное положение участков нарушенных и водонасыщенных пород на трассе штольни железнодорожного тоннеля №3 на совмещенной (автомобильной и железной) дороге Adler - горноклиматический курорт "Альпика-Сервис" со стороны южного портала по данным ЭМИ СШП зондирования. Этап 41
Масштаб: горизонтальный 1:200; вертикальный 1:100

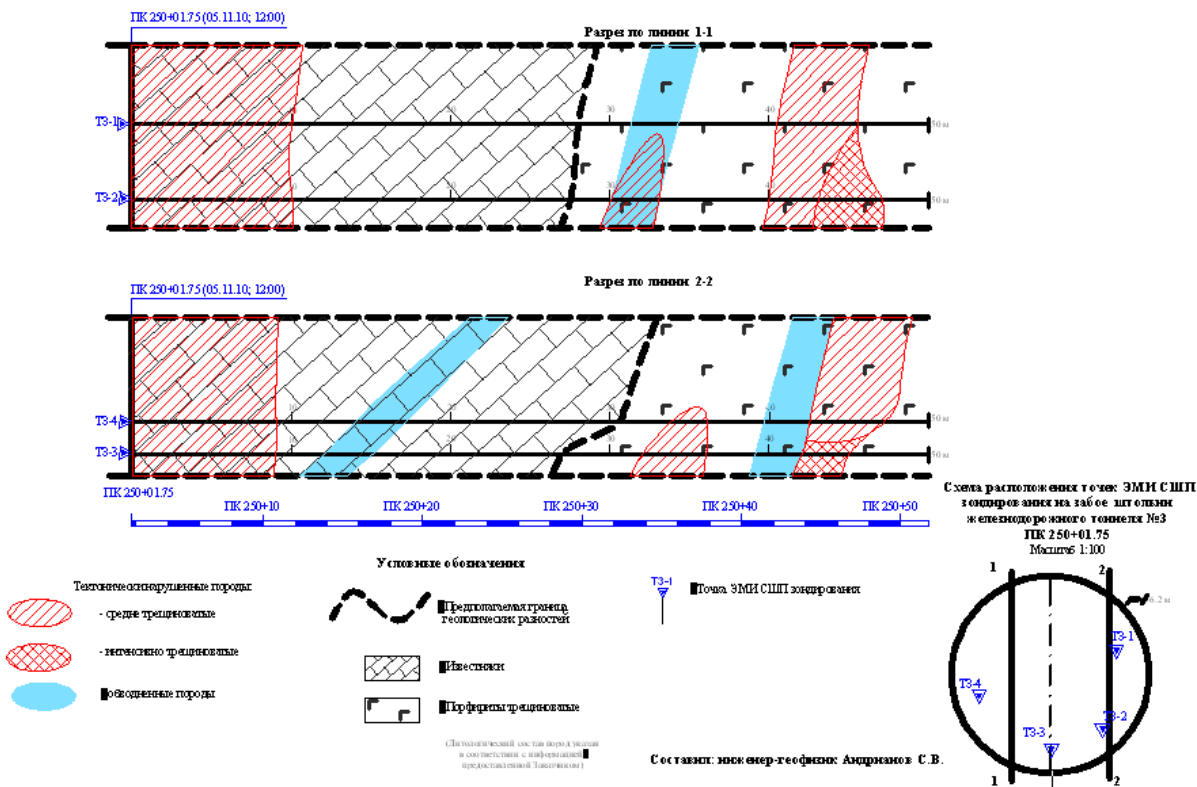


Рис. 2. Интерпретация инженерно-геологического и гидрогеологического прогноза впереди забоя тоннеля по данным СШП георадиолокации

Оценку устойчивости призабойного участка тоннеля осуществляют с помощью регистрации естественных импульсов электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). По параметрам электромагнитной эмиссии определяют степень устойчивости выработки. Кроме этого с помощью метода регистрации ЕИЭМПЗ определяют зоны нарушенных грунтов впереди забоя на расстоянии одного диаметра выработки.

Работы ведут дистанционно с применением кольцевой антенны. Вес оборудования около 2 кг.

Использование этого неразрушающего экспресс-метода оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) позволяет оперативно получать информацию о геодинамических процессах в забоях, в заобделочном пространстве и крепях тоннелей.

Оценка существующей геодинамической активности горного массива и его природного напряженно-деформированного состояния с целью прогнозирования устойчивости вмещающих тоннель пород, производится профилированием с регистрацией поля естественного электромагнитного излучения горного массива. Также производится регистрация вариаций поля ЕЭМИ с целью наблюдения за развитием геодинамических процессов во времени в обнаруженных ранее зонах разупрочнений. При наблюдениях за изменением поля ЕЭМИ, изучается аномальное поведение магнитной составляющей естественного электромагнитного излучения горных пород в местах изменения геомеханических напряжений в результате действия горного давления, микроподвижек по контактам блоков (поверхностям скольжения), например, в зонах разломов.

На рисунке 3 показаны временные графики средних значений параметра Ам поля ЕЭМИ и относительных деформаций в крепи тоннеля. Графики построены по данным одновременных измерений на замерных станциях относительных деформаций первого автодорожного тоннеля совмещенной дороги Адлер – «Альпика-Сервис» со стороны северного портала. Опытные участки определения НДС крепи в натуральных условиях оснащены струнными датчиками ТБ-200.

Замеры ЕЭМИ проводились у стенок тоннеля вблизи датчиков-деформометров. Стрелками показаны всплески ЕЭМИ при соответствующих значениях напряжений. Хотя ряды значений по оси времен получали через неравные интервалы времени и есть пропуски, можно заметить, что после всплеска излучения ЕЭМИ сразу или через некоторое время происходит изменение напряжений.

Принимая за фоновые значения Ам до 50 мкВ (в данном случае) все значения выше фона могут быть связаны с деформациями и изменениями напряженного состояния. Важно, что всплески ЕЭМИ происходят одновременно или несколько раньше деформаций. Подобные прогностические свойства ЕЭМИ проявляются как при относительно небольших, так и при существенных изменениях напряженного состояния пород.

На данный момент регистрация ЕЭМИ является косвенным методом исследования НДС и с его помощью нельзя напрямую оценить величину напряжений – возможен только качественный анализ данных. В связи с этим в ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» ведутся научные эксперименты по совместному исследованию геоэлектромагнитных и геомеханических процессов при строительстве транспортных тоннелей. Эти исследования имеют целью переход от качественного анализа НДС массива с помощью регистрации ЕЭМИ к количественным прогнозным показателям. Получение таких показателей позволит проводить диагностику предразрушающего состояния участков массивов и контролировать динамику процессов проявления горного давления. Предстоит изучать изменения в структуре сигналов электромагнитного излучения на различных стадиях нагружения массива.

Приведенный пример регистрации ЕЭМИ в строящемся тоннеле показывает перспективность его применения для оперативного неразрушающего контроля и прогноза изменений НДС. Дальнейшее развитие и совершенствование аппаратуры, применение

современных способов обработки данных ЕЭМИ позволят применять регистрацию ЕЭМИ для количественных экспресс-оценок НДС массива горных пород и обделок тоннелей.

Напряженно-деформированное состояние крепей и обделок определяют с помощью струнных датчиков, измеряя относительные деформации в месте их установки. Затем, зная относительные деформации, вычисляют напряжение. В бетонных и железобетонных конструкциях напряжения вычисляют по специальной методике с учетом загрузения бетона в раннем возрасте и его ползучести.

Наилучшее представление о формировании напряженно-деформированного состояния крепей и обделок позволяет получить комплексное применение датчиков (деформометров) внутри конструкций (рис.4 а) и измерение деформаций внутреннего контура, начиная с момента их возведения.

С учетом технологии строительства можно контролировать качественное и количественное изменение напряженно-деформированного состояния крепи на всех этапах раскрытия тоннеля на полное сечение (рис.4 б). Сопоставление величин напряжений в крепи с деформациями внутреннего контура для конкретного сечения позволяет с меньшими затратами оценить несущую способность на остальных участках тоннеля, ограничиваясь только контролем деформаций внутреннего контура. Для достоверного и достаточного определения несущей способности крепи по трассе тоннеля данным способом датчиками необходимо оснащать все литологические разности, пересекаемые тоннелем, а также тектонически нарушенные участки.

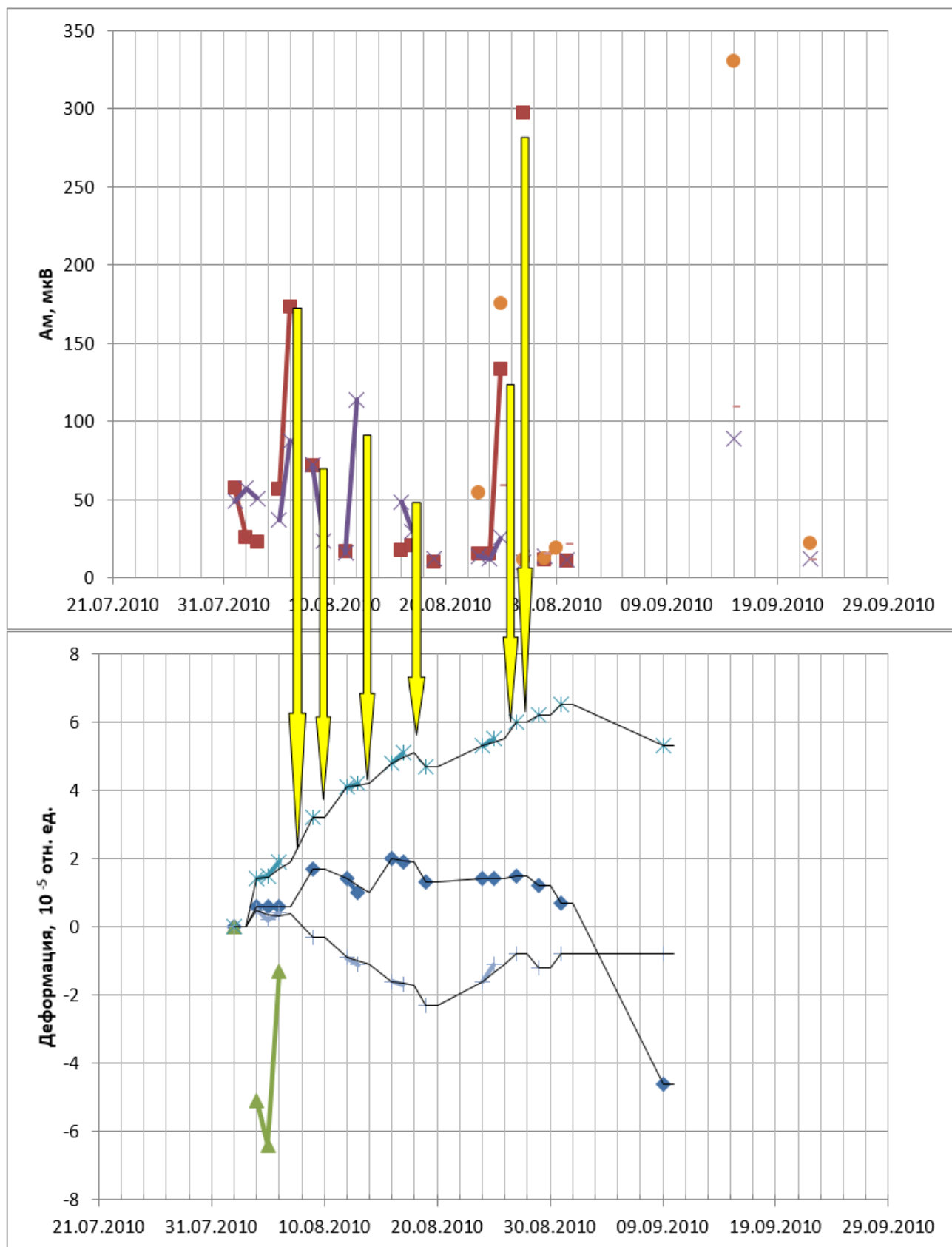


Рис. 3. Результаты одновременных определений параметров поля ЕЭМИ и относительных деформаций в крепи автодорожного тоннеля №1 на трассе совмещенной (автомобильная и железная) дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» (замерные станции деформаций на ПК 135+22,5 и 135+82,5).

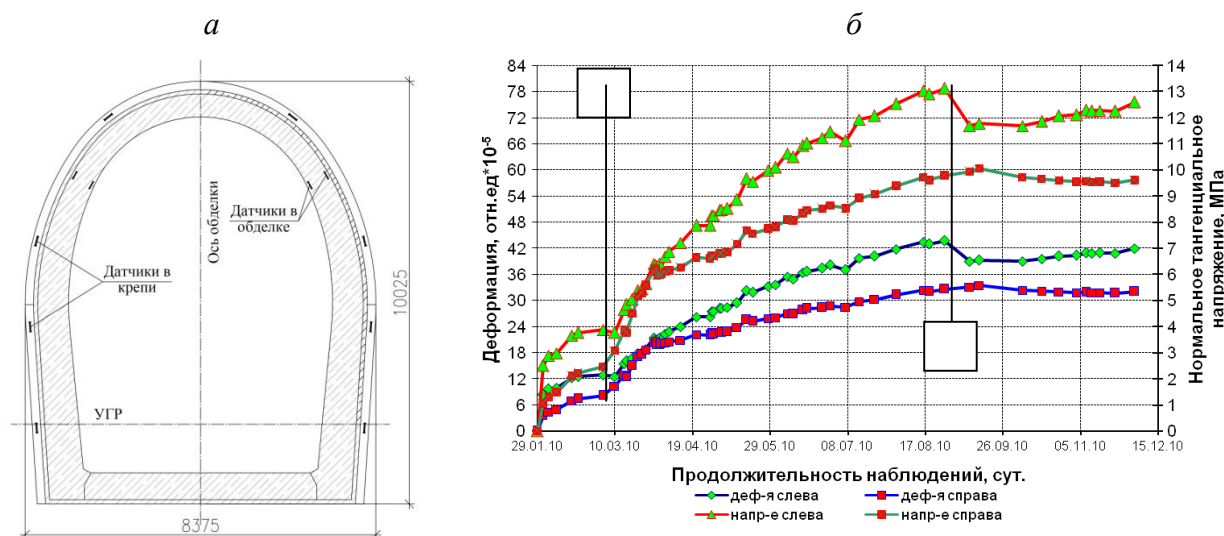


Рис. 4. Определение напряженно-деформированного состояния крепи и обделки: а – размещение струнных датчиков в крепи и обделке; б – формирование напряженного состояния крепи с учетом технологии строительства; 1 – разработка штроссовой части; 2 – возведение постоянной обделки

Практика проходки тоннелей в условиях Северного Кавказа свидетельствует о значительном влиянии геологического строения массива на их устойчивость. Наибольшую сложность на проходку оказывает горный массив, представленный аргиллитами. При его замачивании происходит снижение сцепления между слоями пород (грунта), что приводит к смещению значительных грунтовых масс и дополнительным контактным напряжениям. Подобные факторы сильно проявились при проходке участков Петлевых железнодорожных тоннелей на припортальных участках и в логах (уменьшение расстояния между контуром крепи и поверхностью при изменении рельефа местности) [2], Навагинском железнодорожном тоннеле, железнодорожном тоннеле №1 участка Туапсе - Адлер. Это сказалось на дополнительных смещениях контура, поэтому потребовалось конструктивное изменение аркобетонной крепи в виде установки расстрелов при разработке нижнего уступа.

На одном из «Олимпийских» тоннелей участка Адлер – «Альпика-Сервис» строительство велось в массиве, представленном аргиллитами и осложненным тектоническим нарушением. На рис.4 б отчетливо видна реологическая составляющая формирования напряженного состояния крепи для этого участка, а именно незатухающее приращение напряжений и деформаций вплоть до возведения постоянной обделки. Раскрытие тоннеля на полное сечение (после разработки штроссовой части) значительно увеличило скорость приращения напряжений и деформаций внутреннего контура (смещения достигали 100 мм). Разработка проекта усиления набрызгбетонной крепи с арматурными арками дополнительной анкерной крепью позволила значительно уменьшить смещения крепи и обеспечить проектное сечение тоннеля к моменту возведения постоянной обделки.

На другом «Олимпийском» тоннеле участка Адлер – «Альпика-Сервис» строительство также велось в массиве, представленном аргиллитами, но уже блочной структуры и полускального состояния. Напряженное состояние тяжелой аркобетонной крепи, возводимой с отставанием от забоя на 20-30 метров, после ее возведения практически не изменялось. Максимальная величина сжимающих напряжений в бетоне не превышала 1 МПа. Разработка штроссовой части также не оказала изменений на напряженное состояние крепи. Для таких

условий аркобетонная крепь является неэффективной при принятой технологии строительства – нанесение на призабойном участке набрызгбетона и установка анкерной крепи, а с отставанием на 20-30 метров возведение аркобетонной крепи. Поэтому были разработаны рекомендации по облегчению ее конструкции.

Определение фактических деформативно-прочностных свойств массива осуществляется на пройденных участках тоннелей, где еще не возведена постоянная обделка. С помощью сейсмопрофилирования определяют скорости прохождения продольных и поперечных волн, зная их, определяют деформационные свойства литологических разностей и коррекционно-прочность грунтов.

Оценку водопроявлений осуществляют по их виду, дебету, гидростатическому давлению и химическому составу воды.

Для определения деформаций земной поверхности в пределах проектной мульды оседаний и здании, находящихся на ней, устанавливают реперные точки и марки, по которым с помощью специального сканера определяют смещения. В случае необходимости для определения сдвижений в толще массива над сооружаемыми подземными выработками в скважинах устанавливают глубинные реперы (экстензометры). Изменения напряженного состояния водонасыщенного массива исследуют путем установки в скважинах датчиков гидростатического давления.

Оценку устойчивости оползневых склонов осуществляют с помощью традиционных геодезических методов, инклинометрии в скважинах и регистрацией изменения электромагнитной эмиссии.

При несоответствии проектным инженерно-геологическим, гидрогеологическим условиям, напряженно-деформированному состоянию системы «массив-крепь», деформационно-прочностным характеристикам, полученным в результате проведения мониторинга, осуществляется корректировка технологии проходки, конструкций крепи и обделки.

В состав АСУ ТП эксплуатации транспортных тоннелей на участке «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» входит система горно-экологического мониторинга, состоящая из:

- контроля напряженно-деформированного состояния обделок;
- оценки устойчивости системы «обделка – массив» методом ЕЭМИ;
- сейсмомониторинга.

Информация с контрольно-измерительной аппаратуры 9 тоннелей в режиме реального времени поступает на серверы мониторинга в здание диспетчерской по автомобильной дороге и в здание диспетчерской по железной дороге. После обработки поступающих данных информация визуализируется на отдельном АРМе, расположенном на столе перед диспетчером (рис.5), осуществляющего контроль всех автоматизированных систем безопасной эксплуатации тоннелей.

В процессе проведения экологического мониторинга в контрольных точках, расположенных на выходе из порталов тоннелей, непосредственно в тоннеле, на границах строительных площадок, в селитебных зонах, а при необходимости в створах, прилегающих к строительным площадкам рек, проводят измерения:

- показателей кислотности (рН) и биохимического потребления кислорода (БПК₅), концентрации взвешенных веществ, тяжелых металлов меди, ртути, железа, свинца, цинка, кадмия), нефтепродуктов в воде, дренирующей из горного

массива, сточных водах, удаляемых из тоннеля, штольни и предпортальной строительной площадки;

- содержание тяжелых металлов (меди, ртути, железа, свинца, цинка, кадмия, мышьяка, марганца, никеля), а также фенолов в породах, извлекаемых в процессе проходки выработок;
- содержания загрязняющих веществ (взвешенных частиц, диоксида азота, оксида углерода, диоксида серы) в атмосферном воздухе и воздушной среде сооружаемых выработок.

Анализ результатов мониторинга, осуществленный с учетом особенностей технологии сооружения тоннелей, позволил установить основные производственные процессы, оказывающие влияние на различные компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, горный массив, почвы и т.п.



Рис. 5. Расположение отдельного АРМа горно-экологического мониторинга в диспетчерской

На основании данных мониторинга выявлен характер воздействия транспортных тоннелей на окружающую среду в процессе их строительства и обоснованы периодичность и топология размещения точек наблюдений.

Установлено, что степень негативного воздействия строительства на различные элементы биосферы зависит от применяемой технологии проходки тоннелей. Например, при использовании комбайнов и проходке с помощью тоннелепроходческих комплексов (ТПК) характер негативного воздействия на окружающую среду связан, в основном, с погрузочно-доставочными операциями, вызывающими загрязнение тоннельного воздуха, продуктами работы двигателей внутреннего сгорания.

В случае комбайновой проходки также происходит образование при разрушении горных пород аэрозолей фиброгенного действия (пыли).

Применение буровзрывной технологии приводит к сейсмическому воздействию на горный массив, окружающий выработки, что может спровоцировать развитие природных явлений (оползни, обвалы и т.п.) или негативно сказаться на состоянии ихтиофауны; происходит выделение в окружающую среду продуктов химических реакций, протекающих при расположении взрывчатых веществ, не исключен неуправляемый разлет кусков взрывающейся породы.

Проведение наблюдений за сейсмическим воздействием БВР на компоненты ОС при проходке тоннеля является одной из задач горно-экологического мониторинга.

Формирование при сооружении транспортных выработок воздействующих на окружающую среду факторов происходит непосредственно в самих выработках. Тоннельный воздух, дренажная и сточная воды являются лишь транзитными средами, которые транспортируют аккумулированные в них загрязняющие вещества в ОС. В этой связи регламент экологического мониторинга включает комплекс измерений, осуществляемых непосредственно в тоннельных выработках. При отсутствии такой информации могут возникнуть сложности с решением обратной задачи, связанной с определением путей снижения негативного воздействия строящихся тоннелей на окружающую среду.

При эксплуатации транспортных тоннелей уровень негативного воздействия на ОС значительно снижается. Для автодорожных тоннелей это сводится к выбросам в атмосферу воздуха, содержащим продукты работы двигателей внутреннего сгорания, и дренажные и сточные воды, которые могут содержать нефтепродукты. Для железнодорожных тоннелей, если они не используют дизельную тягу, воздействующие факторы, в основном, определяются номенклатурой транспортируемых грузов, и продуктами жизнедеятельности пассажиров и обслуживающего персонала.

Существующий в настоящее время перечень работ по обеспечению эксплуатации функциональных тоннельных систем, включающий:

- эвакуационные выходы, - противопожарную защиту и тушение пожаров, - дорожное полотно, - тоннельную обделку, - порталы, - дренажную систему, гидроизоляцию, - теленаблюдение, - очистные сооружения, припортальные водоотводные устройства, - вспомогательные подземные выработки и АСУ ТП, не в полной мере удовлетворяет обеспечению безопасной эксплуатации тоннелей.

Помимо перечисленных работ в перечень обязательных мероприятий должны быть включены:

- горно-экологический мониторинг в составе: обеспечения необходимых климатических условий в тоннелях, обеспечения не превышения ПДК в воздухе вредных веществ, контроля вентиляционных систем, фиксирования сейсмических воздействий на систему «вмещающий массив - тоннель» и принятие решений по дальнейшей эксплуатации в соответствии с разработанными сценариями, оценки напряженно-деформированного состояния системы «массив - тоннель», в том числе с учетом тектонических процессов, контроля гидростатического давления и работы дренажных устройств, контроля оползневых припортальных склонов;
- анализ результатов всех систем, полученных при эксплуатации тоннелей;
- специальные работы для капитального ремонта (реконструкции или устранения повреждений инженерных сооружений и технических устройств) – обследование

тоннелей, проведение инженерно-геологических изысканий, разработка проектной документации на капитальный ремонт, экспертиза проектной документации, строительный контроль, авторский, технический надзор, научное сопровождение, обследование и испытание тоннельных сооружений после капитального ремонта, в том числе измерения габарита обделки и геометрического состояния дорожной одежды;

- правила охраны труда при эксплуатации тоннелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безродный К.П., Гендлер С.Г., Исаев Ю.С., Лебедев М.О., Иофис М.А. О методическом руководстве по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. Труды международной научно-технической конференции «Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных мегаполисов. Москва, 2010г. - с. 18-20.
2. Лебедев М.О., Балыкин В.В. Горно-экологический мониторинг на примере Большого Петлевого тоннеля // Метро и тоннели. – 2006. – №6.

Рецензент: Заместитель Председателя Поволжского отделения Российской академии транспорта, академик РАТ, доктор технических наук, профессор Овчинников Игорь Георгиевич.

Konstantin Bezrodny

Lenmetrogiprotrans JSC
Russia, St. Petersburg
E-Mail: besrodny@lenmetro.ru

Mikhail Lebedev

Lenmetrogiprotrans JSC
Russia, St. Petersburg
E-Mail: lebedev-lmgt@yandex.ru

Mining Environmental Monitoring in the Construction and Operation of Transport Tunnels in the North Caucasus

Abstract: Mining environmental monitoring is an integral part of the transport tunnel construction and operation process. Such monitoring is required in the Russian Federation by regulatory technical documents approved by federal authorities. In the construction of transport tunnels, mining environmental monitoring addresses geotechnical and geoenvironmental tasks primarily aimed at safe tunneling and reduced adverse impact on the environment. Geotechnical tasks are handled by geophysical, geomechanical, and geodetic methods. Direct and indirect methods of measuring the parameters monitored enable sufficiently accurate prediction of geological conditions ahead of tunnel faces, finding the qualitative and quantitative indicators of the stress-strain behavior of the “ground-lining” system, and assess the actual strain-strength properties of the host rock, host rock strains from the tunnel contour to day surface, and maximum permissible concentrations of pollutants in the air, water, and tailings.

Results obtained from the monitoring enable updating the operational parameters of tunneling in the construction process, and developing recommendations to reduce negative impacts on the environment.

Mining environmental monitoring shall always be included in the list of work supporting the functional tunnel system operation. The tunnels of the Adler-Alpica-Service section are an example of successful integration of the monitoring in the Automatic Process Control System.

Keywords: monitoring; construction; operation; lining; mass; strains; stresses; prediction; geology; environment; tunnel; safety; technology; recommendations.

REFERENCES

1. Bezrodnyj K.P., Gendler S.G., Isaev Ju.S., Lebedev M.O., Iofis M.A. O metodicheskom rukovodstve po kompleksnomu gorno-jekologicheskomu monitoringu pri stroitel'stve i jekspluatacii transportnyh tonnej. Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Osnovnye napravlenija razvitija innovacionnyh tehnologij pri stroitel'stve tonnej i osvoenii podzemnogo prostranstva krupnyh megapolisov. Moskva, 2010g. - s. 18-20.
2. Lebedev M.O., Balykin V.V. Gorno-jekologicheskij monitoring na primere Bol'shogo Petlevogo tunnelja // Metro i tonneli. – 2006. – №6.