

г. Москва  
Конференц-зал,  
Отель «Татьяна»

21 марта  
2019 г.



## ОРГАНИЗАТОРЫ



## ПАРТНЕРЫ



## ОПЕРАТОР МЕРОПРИЯТИЯ



## Научно-техническая конференция

## Освоение подземного пространства городов и транспортное строительство

ТРУДЫ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ

**ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА  
ГОРОДОВ И ТРАНСПОРТНОЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВО**

Москва, 2019

## ОРГАНИЗАТОРЫ

---



## ПАРТНЕРЫ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ РОССИИ

---



## ОПЕРАТОР МЕРОПРИЯТИЯ

---



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

---



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Конюхов Д.С.</b> Основные принципы комплексного освоения подземного пространства при реновации жилой застройки Москвы.....	5
<b>Карлов К.Р., Ракитин С.А.</b> Аспекты применения температурно-акустического метода контроля безопасности подземных высоковольтных кабельных линий в г. Москве.....	11
<b>Кулагин Н.И.</b> Основные научно-технические результаты проектирования и строительства тоннелей БАМа.....	16
<b>Безродный К.П.</b> Новые технологические и конструктивные решения, рожденные при строительстве тоннелей БАМ.....	32
<b>Лебедев М.О., Исаев Ю.С., Басов А.Д., Бойко О.В., Романевич К.В., Ларионов Р.И., Трунев В.Г.</b> Надежность тоннельных конструкций при эксплуатации Северомуйского тоннеля.....	37
<b>Никоноров Р.Н.</b> Технические решения для обеспечения сохранности и безопасной эксплуатации сооружений метрополитена при пуске участков линий строящегося метрополитена по временной схеме на деревянных шпалах до завершения строительно-монтажных работ в полном объеме....	47

# ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ РЕНОВАЦИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ МОСКВЫ

Конюхов Д.С., АО «Мосинжпроект»

Закономерность современного этапа освоения подземного пространства – непрерывное возрастание значения подземного строительства во всем мире. Это явствует, в частности, из огромных усилий, предпринимаемых для улучшения транспортной инфраструктуры городов в Северной Америке и Юго-Восточной Азии, в особенности в Китае, Японии, Корее, Сингапуре. Значительная работа по созданию сетей канализации, строительству тоннелей – водопроводов и других коммуникаций, необходимых густонаселенным мегаполисам, проводится в Центральной и Южной Америке, в Северной и Южной Африке. Все больше правительств и муниципальных органов власти во всем мире осознают необходимость и преимущества использования подземного пространства. Всемирный тоннельный конгресс 2017 года и 43-я Генеральная Ассамблея Международной Тоннельной Ассоциации (ИТА) показали, что общий объем инвестиций в тоннелестроение и освоение подземного пространства в мире в 2016 году достиг 86 млрд. евро. Отмечается рост тоннелестроения на Ближнем Востоке, где инвестиции в отрасль составили 10,2 млрд. евро, что сопоставимо с объединённой Европой (9,7 млрд. евро). Лидером мирового тоннелестроения остаётся Китай, занимающий около 50% рынка. Международная тоннельная Ассоциация прогнозирует рост мирового рынка тоннелестроения до 680 млрд. евро в течение 8 лет, при том что 75% от общего объёма тоннелестроения будет сосредоточено в Индии, Юго-Восточной Азии и Китае [1].

Необходимо подчеркнуть особенно важную роль освоения подземного пространства в связи с ростом населения Земли. Прогнозируется, что к 2025 году население Земли составит 81 млрд. чел. (рис. 1).

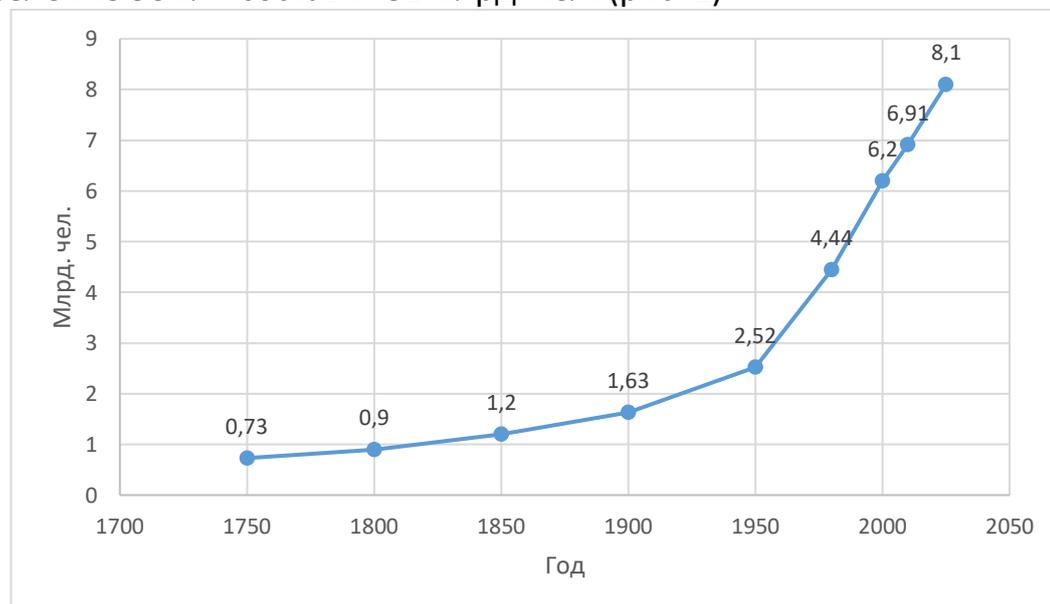


Рис. 1. Рост численности населения планеты Земля [6]

Аналогичным образом растет население крупнейших городов мира, в том числе и Москвы. По данным на 1 января 2017 г., население Москвы выросло с 2012 г. более чем на 1,1 млн. чел и составило 12,38 млн. чел (рис. 2).

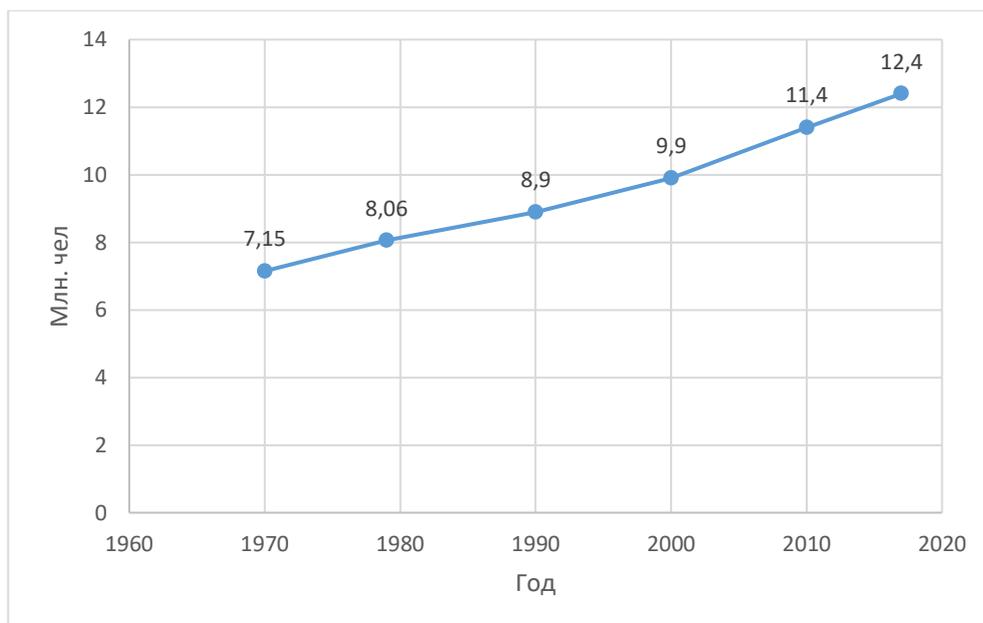


Рис. 2. Рост численности населения Москвы (по данным Мосгорстат<sup>1</sup>)

Программой реновации жилищного фонда в городе Москве [2] предусматривается «совокупность мероприятий, направленных на обновление среды жизнедеятельности и создание благоприятных условий проживания граждан, общественного пространства в целях предотвращения роста аварийного жилищного фонда в городе Москве, обеспечения развития жилых территорий и их благоустройства». При этом «реновация жилищного фонда осуществляется с учетом развития сети объектов инфраструктуры, создания дополнительных условий для развития человеческого потенциала, экологии, что обеспечивает комплексное развитие территории в соответствии с современными требованиями к городской среде... При реализации Программы реновации должно быть обеспечено создание комфортной среды проживания граждан, в том числе путем установления дополнительных требований к благоустройству территории, формированию улично-дорожной сети, парковочного пространства, тротуаров прифасадной зоны, организации дворовых и внутриквартальных озелененных территорий».

Создание комфортной среды проживания – это не только «комфортное жильё», но комфортная городская среда, включающая в себя совокупность жилых, транспортных, социальных, культурно-развлекательных и природных кластеров. Сейчас, возможно впервые за свою тысячелетнюю историю, Москва становится городом удобным для жизни. Появились широкие тротуары, велодорожки, организованные парковки, благоустроенные парки,

<sup>1</sup> [http://moscow.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/moscow/ru/statistics/population/](http://moscow.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/moscow/ru/statistics/population/)

растёт сеть дорог и общественного транспорта. Очень важно учесть этот опыт и при реновации жилой застройки. Комфортное жильё без организации комфортной городской среды превратит кварталы реновации в новые спальные районы массовой жилой застройки. Мегаполис завтрашнего дня – это экологически безопасный, энергоэффективный, доступный и ориентированный на человека город, в котором приоритет отдается эффективному использованию природных ресурсов, сокращению загрязнения окружающей среды и потребления [5].

Использование подземного пространства позволяет создать 4-е измерение привычной городской среды, дает возможность возводить компактные инфраструктурные комплексы на ограниченной территории, минимизировать экологический ущерб от строительства и повысить качество жизни населения. В теории, Вы не найдете противников идеи освоения подземного пространства Москвы, в том числе в районах реновации жилой застройки. Признается социальная значимость, рост цен на недвижимость и проч. Однако на практике используется каждый метр свободной поверхности, а к возведению подземных сооружений прибегают как к последнему средству, когда все другие возможности уже исчерпаны. Забывая при этом, что планируя районы реновации мы не только решаем повседневные задачи, но создаем своеобразный градостроительный задел минимум на ближайшие 50-100 лет. По мнению зарубежных исследователей, [3, 4], к созданию городской инфраструктуры нового поколения нужно подходить, в первую очередь, с экологической точки зрения. Для этого [4] предлагаются следующие критерии:

- комплексное использование территории, в том числе ее многократное использование;
- исключение дублирующих процессов при эксплуатации и обслуживании территории;
- синергетический эффект от использования энергии и ресурсов;
- минимальное воздействие на природно-техногенную среду;
- создание новых рабочих мест и налоговых поступлений;
- устойчивое развитие.

В качестве примера подобного подхода можно рассмотреть транспортно-пересадочный узел в Сан-Франциско, Калифорния, США, построенный на месте старого здания.



Рис. 3. Транспортно-пересадочный узел в Сан-Франциско, Калифорния, США [3]

Транспортно-пересадочный узел представляет собой энергоэффективный, многофункциональный объект с парковой зоной на верхнем уровне и повторным использованием переработанных строительных материалов после сноса существующего здания. Дождевая вода, собираемая в парковой зоне, после соответствующей очистки, используется в системе питьевого водоснабжения. Вентиляционная система обеспечивает естественную вентиляцию объекта, что в частности, приводит к снижению энергозатрат на кондиционирование.

При этом модель развития районов реновации должна учитывать следующие принципы долгосрочного планирования:

1. взаимодополняемости – например, проектируемые транспортные системы района реновации должны обеспечивать быстрое и комфортное перемещение человека от дверей его квартиры до дверей вагона метро;
2. взаимозаменяемости – в частности, объекты гражданской обороны должны проектироваться как парковки, склады магазинов, фитнес центры, хранилища библиотек и проч.;
3. безопасности;
4. централизации систем мониторинга, управления и обслуживания;
5. социального развития.

Решение этих задач возможно только путём комплексного освоения подземного пространства с учётом квартального принципа застройки. В первую очередь это касается таких районов как «Перово», «Северное Измайлово», «Можайский», «Фили-Давыдково», «Головинский», «Коптево», «Бабушкинский», «Хорошево-Мневники», «Южное Тушино» и ряд других.

Для этих территорий необходимо предусматривать устройство под жилым микрорайоном единой подземной части, в которой будут размещаться:

1) подземные автостоянки, включая места для постоянного и гостевого хранения автотранспорта;

2) подземная транспортная сеть:

- проезжая часть для автомобилей и общественного транспорта;

- тротуары для движения пешеходов;

- остановочные пункты общественного транспорта;

3) подъездные пути, разгрузочные площадки и склады предприятий торговли, бытового обслуживания, общественного питания и проч.;

4) предприятия торговли, бытового обслуживания, общественного питания и проч.;

5) сооружения инженерной инфраструктуры микрорайона, в том числе:

- районные трансформаторные подстанции;

- инженерные сети;

- объекты централизованного сбора и удаления мусора;

6) хранилища и архивы государственных и муниципальных учреждений;

7) отдельные помещения медицинских учреждений;

8) книгохранилища библиотек;

9) объекты гражданской обороны.»

Подобное решение позволит практически полностью разделить жилую и инженерную зоны микрорайона. Наземная часть будет отдана жилой застройке, детским садам, школам, больницам, ландшафтно-парковым зонам. За счет перевода всей транспортной и инженерной инфраструктуры в подземную часть микрорайона будет обеспечена максимальная безопасность жителей, снижение дорожно-транспортных происшествий, улучшена экологическая обстановка и в целом повышено качество жизни горожан.

Примером подобного решения может быть экспериментальный район Северное Чертаново, построенный в 1970-х годах (рис. 4). Район был спроектирован как «город в городе» и включал в себя локальные бытовую, торговую, культурную, административную зоны. При этом в микрорайоне была реализована единая система обслуживания зданий с подземными автостоянками, пневматическим удалением мусора и централизованным контролем инженерных систем.



Рис. 4. Экспериментальный район Северное Чертаново

Использование опыта, накопленного строителями и проектировщиками Москвы, инновационных решений по ресурсосбережению, зонированию территории, организации транспортной доступности с преобладанием скоростной массовой перевозки пассажиров, ведение в составе жилых микрорайонов объектов социальной инфраструктуры позволит не просто построить новые спальные районы Москвы, а создать город, удобный для жизни, и, в конечном итоге, повысить инвестиционную привлекательность районов реновации.

#### Литература:

1. Конюхов Д.С., Андреев А.А., Вдовин А.А. и др. Освоение подземного пространства – как решение градостроительных проблем. – Метро и тоннели, № 3-4, 2017. с. 2-5.
2. Постановление Правительства Москвы № 497-ПП от 1 августа 2017 года «Программа реновации жилищного фонда в городе Москве».
3. Admiral H., Cornado A. Dankable and investment-ready underground space developments. 16th World Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS 2018). - Hong Kong, 2018.
4. Brown, H.. Next Generation Infrastructure: Principles for Post-Industrial Public Works. doi: 10.5822/978-1-61091-202-0, 2014.
5. Huanqing L., Yiqun F. Deep shanghai project – a resilient strategy for infrastructure integration. 16th World Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS 2018). - Hong Kong, 2018.
6. Hongjun W. Earth human settlement ecosystem and underground space research. 15<sup>th</sup> World Conference of Associated Research Centrs for the Urban
7. Underground Space. Underground Urbanization as a Prerequisite for Sustainable Development. Conference Proceedings. 12-15 September 2016. Saint Peterburg. Russia. – Saint Peterburg, 2016. – p.482-493.

# АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В Г. МОСКВЕ

*Карлов К.Р., Ракитин С.А., ООО «СЕДАТЭК»*

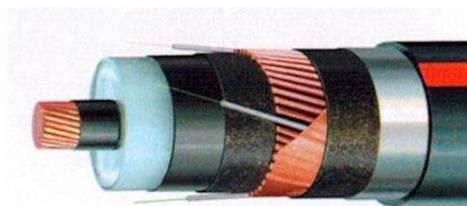
Аннотация: Безопасность и экологическое состояние современных городов является насущной научно технической задачей и обусловлено правильной эксплуатацией и своевременным ремонтом подземных сооружений и инфраструктуры. Современный город является концентратором опасностей, созданных людьми и процессами их деятельности, а, следовательно, является источником техногенной опасности (ИТО). Большинство ИТО расположены под землей, что делает невозможным осуществлять визуальный контроль над ними. Основные ИТО: тоннели, коллектора, водопроводы, теплотрассы, газопроводы, линии электропередач.

Ключевые слова: акустические методы контроля, волоконно-оптические распределенные технологии, мониторинг подземных сооружений, алгоритмы искусственного интеллекта.

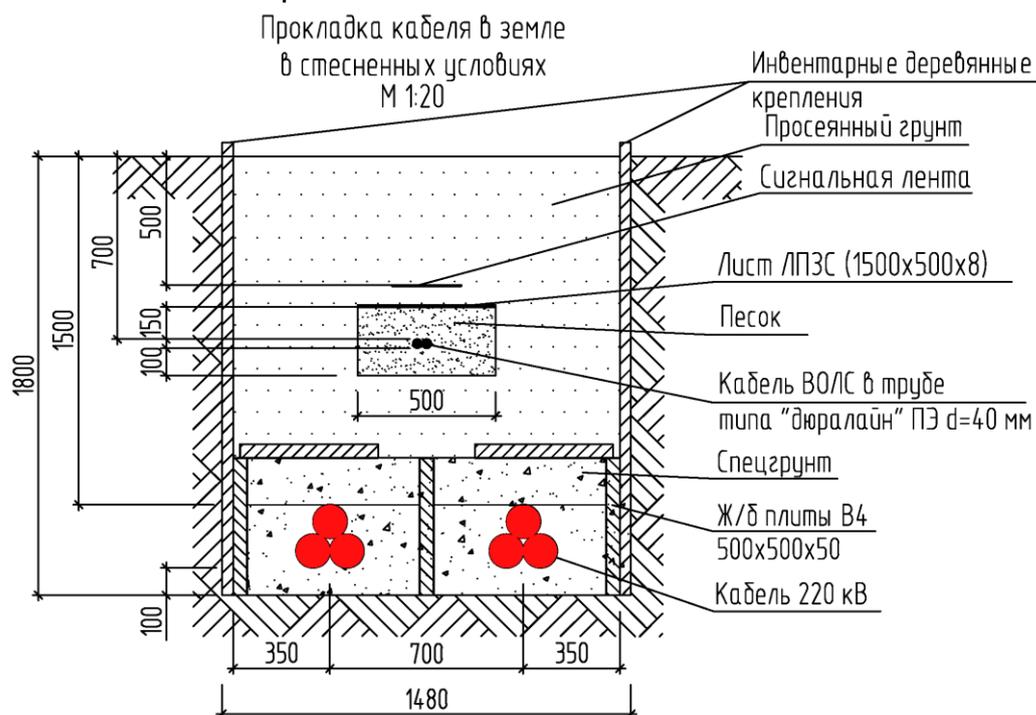
Надежная эксплуатация подземных высоковольтных кабельных линий электропередач – энергетических артерий современных умных городов является архиважным аспектом городской безопасности! Так как данные инфраструктурные объекты скрыты от глаз человека под землей то задачи наблюдения за ними требуют инновационных подходов их решения. Одним из таких подходов является использование распределённых волоконно-оптических технологий, позволяющих получать данные об распределении температуры и акустического фона на протяжении всей кабельной линии в грунте.

Возможно несколько вариантов расположения оптического световода используемого в качестве чувствительного элемента системы мониторинга акустического фона.

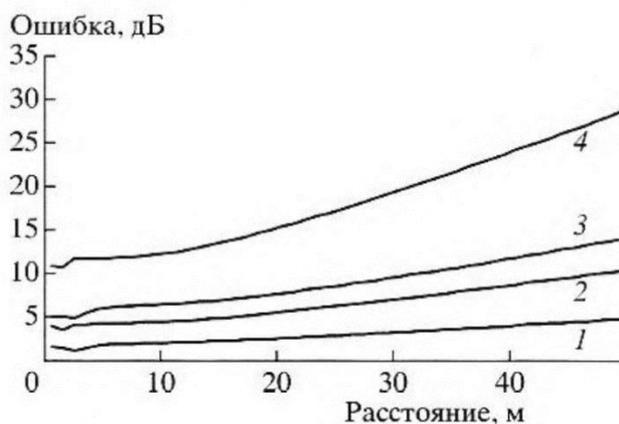
1. Расположение оптического световода внутри высоковольтного кабеля из сшитого полиэтилена. Волокно находится в металлической трубке являющейся частью экрана заземления кабеля.



2. Расположение оптического световода внутри связного кабеля, расположенного в непосредственной близости к высоковольтному кабелю в траншее или коллекторе.



Грунт является очень сложной и неоднородной средой с нелинейными поглощающими и упругими свойствами. Создание математической модели даже однородной геофизической среды со свободной поверхностью уже является очень сложной задачей. Наличие многих слоев грунта с различными массовыми и упругими характеристиками совершенно меняет и значительно усложняет общую картину вибрационного поля. Расчет уровней вибрации на заданном расстоянии от поверхности грунта опирается на знания структуры грунта, его динамических и диссипативных характеристик в различных естественных и вызванных техногенными факторами условиях города. Динамические свойства грунта характеризуются скоростями продольных и поперечных упругих волн в твердой среде, а также связанными с ними динамическими модулями Юнга и Пуассона и скоростью распределения поверхностных волн Рэлея. Динамические свойства задаются энергетическими коэффициентами затухания. Отсутствие данных об реальных упругих свойствах и геометрических характеристиках конкретного грунта практически делает все виды расчетов эмпирическими и приводит к значительным ошибкам. Следует



**Рис. 1.** Зависимость ошибки в оценке амплитуды поля упругих волн от расстояния до источника при неточном задании акустических параметров среды: горизонтальная составляющая смещения на частотах 31.5 Гц (кривая 1) и 63 Гц (кривая 2); вертикальная составляющая на тех же частотах (кривые 3 и 4). Скорости продольных и поперечных волн заданы с погрешностью в 100 и 20 м/с, их средние величины соответственно 600 и 200 м/с.

отметить, что точность измерения акустического фона в городе из-за сильной зашумленности составляет  $20 \lg \frac{\Delta W}{W} \sim 2 \text{ dB}$ . Естественным требованием является соблюдение данной точности.

Существуют следующие общепринятые методики расчетов, используемые на практике:

1. Метод конечных элементов. Использование стандартных приемов выбора размера элемента приводит к потере поверхностной волны Рэлея.
2. Анализ модовой структуры поля в неоднородной среде. Данный подход позволяет достаточно просто интерпретировать составляющие поля и поверхностных волн. Успешность метода зависит от точности физической модели.

Данные обстоятельства приводят к необходимости создания нового класса систем мониторинга на базе алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения.

Метод акустических шаблонов

Использование алгоритмов машинного обучения с технологией нейронных сетей в их основе позволяют создавать шаблоны различных акустических событий из полученных в интересующий момент времени данных системы

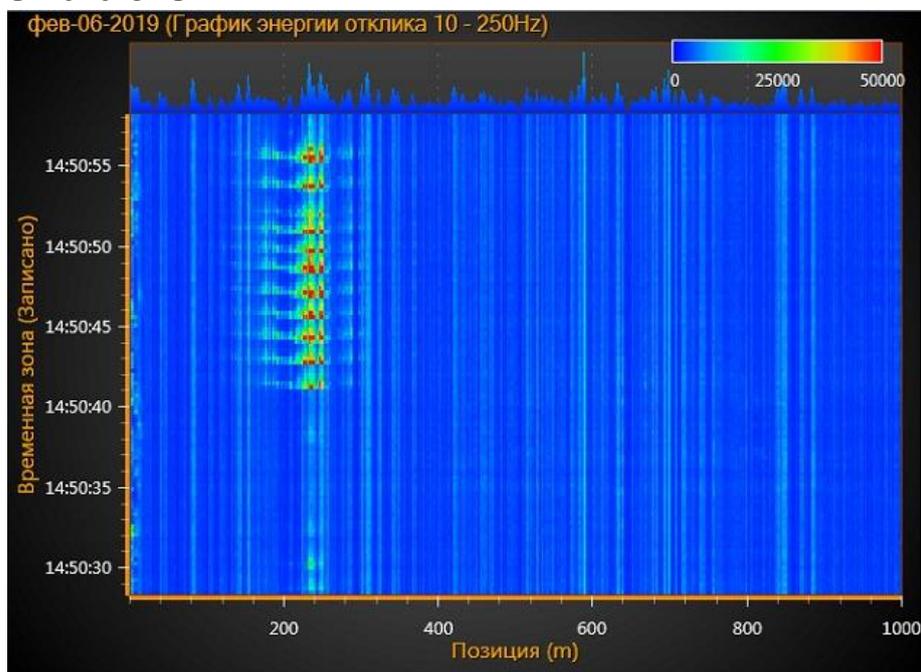


Рис 2 шаблон акустического события

После добавления шаблона в систему появляется возможность распознавания в режиме реального времени схожих акустических явлений с выдачей соответствующих тревожных сообщений.

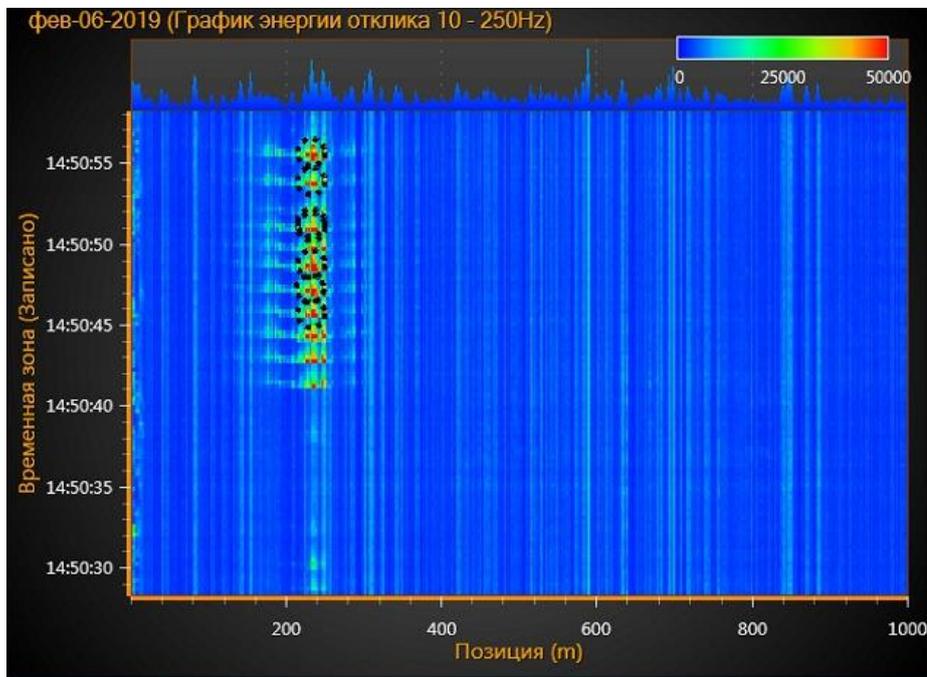
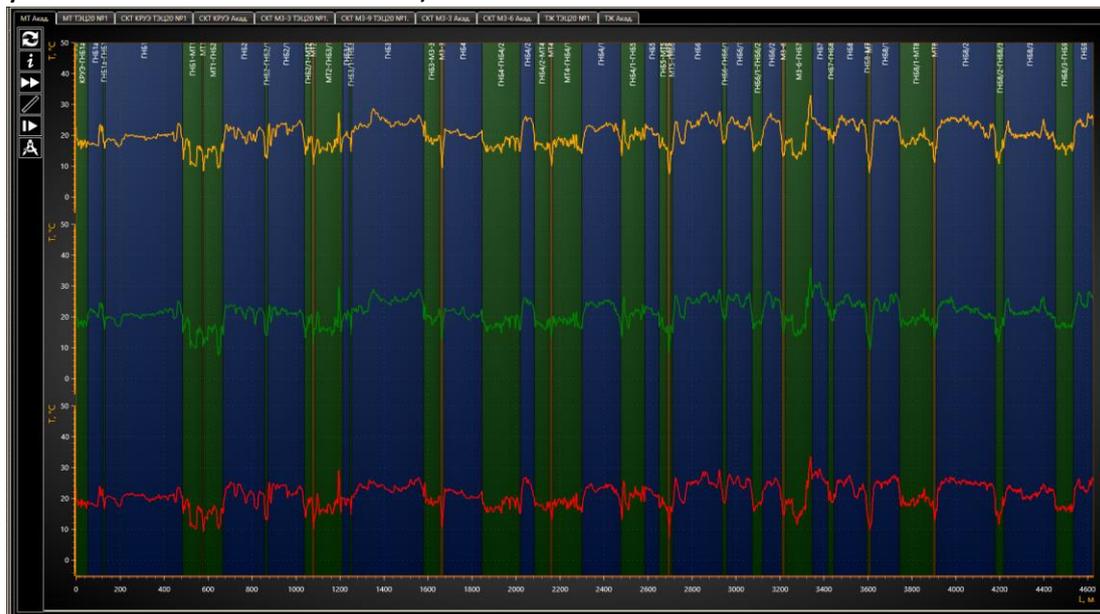


Рис 3 Отработка акустического события в реальном времени

Основным преимуществом данного подхода является возможность расширения способности распознавания акустических событий во время эксплуатации системы за счет расширения базы знаний и количества шаблонов. При этом нет необходимости создания сложных математических моделей грунта, так как система обучается на конкретных данных учитывающих текущее размещения датчика в земле. Данный подход обеспечивает наилучшую достоверность и надежность полученных данных и является инвариантным по отношению к обученным акустическим событиям.

Применение температурно-акустического метода позволяют значительно расширить набор получаемых данных за счет высокоскоростного измерения температуры (один температурный профиль всей кабельной линии можно получить меньше чем за 2 сек.). Эти данные позволяют судить о внешних источниках нагрева, которые могут нарушить тепловой режим работы высоковольтного кабеля (например, пересечения с теплоцентралями и другими источниками тепла).



Международная практика создания систем безопасности подземных инфраструктурных объектов подтверждает обоснованность применение данного метода, который сегодня де-факто является стандартом во всем мире. Например, в Европе все подводные кабельные линии электропередач в обязательном порядке снабжаются такими системами безопасности.

# ОСНОВНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ БАМА

*Кулагин Н.И., ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»*

Этот год для коллектива «Ленметрогипротранса» был знаменателен празднованием вместе со всей страной 40-летия с момента принятия Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О строительстве Байкало-Амурской железнодорожной магистрали» от 8 июля 1974 года, с которого отсчитывают начало строительства этой выдающейся железной дороги, соединившей Сибирь с Тихим океаном. В Петербурге в связи с этим юбилеем в апреле были организованы выставки в Центральном музее железнодорожного транспорта Российской Федерации и в Государственном музее политической истории России. «Ленметрогипротранс», как участник проектирования тоннелей на этой магистрали, предоставил этим музеям довольно много материалов, иллюстрирующих работу над тоннелями БАМа и ход их строительства. Кроме этих выставок, «Ленметрогипротранс» принял участие и в торжественном вечере в Доме офицеров на Литейном проспекте 20, посвященном этой дате, который был организован Советом ветеранов ленинградских строителей БАМа и общественной организацией «Ветераны комсомола». В актовом зале института также была организована выставка материалов по участию коллектива в этой всенародной стройке, прошло торжественное собрание. Ряду сотрудников были вручены юбилейные медали. Институт принял участие (в том числе финансовое) в издании книги «БАМ. Герои своего времени». (рис.1).

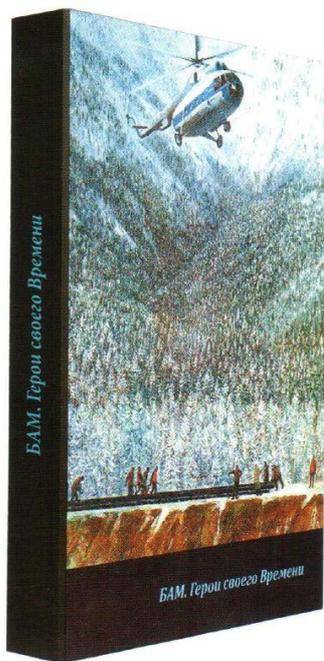


Рис. 1.

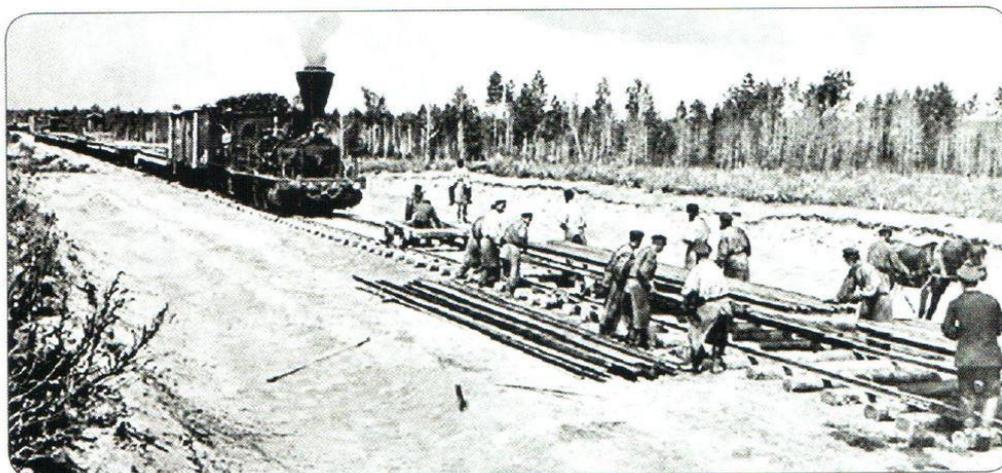
Поскольку с начала строительства великой магистрали прошло уже 44 года, авторы-составители сочли уместным привести краткую справку о работе «ЛМГТ» для БАМа с целью ознакомления нового поколения проектировщиков.

***Вклад коллектива «Ленметропроекта» - «Ленметрогипротранса» в строительство Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ).***

Наш институт, многие из нас, принимали в этой великой стройке самое непосредственное участие. БАМ стал огромным этапом в нашей жизни. Коллектив института участвовал в проектировании практически с 1967 года, когда была начата разработка основных положений строительства тоннелей на второй железнодорожной магистрали, соединяющей Сибирь с Тихим океаном и проходящей севернее озера Байкал.

Впервые идея сооружения широтной железнодорожной магистрали, проходящей севернее озера Байкал, была сформулирована в 1887 году в записке генерал-майора А.П. Проценко в связи с проектированием и строительством Великой Сибирской магистрали.

Однако по результатам произведенного в 1889 году обследования этих районов экспедициями полковника Волошинова и инженера Прохаско комиссией Императорского Русского технического общества 1 декабря 1890 года был окончательно принят Южный вариант строительства Великой Сибирской магистрали, через город Иркутск. В последующем выдвигался ряд предложений о строительстве железной дороги севернее озера Байкал. (рис.2)



*Рис. 2. 1890-е годы – время интенсивного железнодорожного строительства. В то время начинается строительство самой грандиозной в мире Транссибирской магистрали протяженностью 7 тысяч верст.*

Для решения этой задачи с 1907 по 1914 год проводились многочисленные рекогносцировочные изыскания так называемой Ленской железной дороги, имеющие целью установить ее направление для транспортного обслуживания золотоносного района Бодайбо. Но проектов этой дороги в дореволюционный период не появилось.

В 1930 году Дальневосточная краевая партийная организация направила в ЦК ВКП(б) и Совет Народных Комиссаров СССР предложения о проектировании и строительстве второй Транссибирской железнодорожной магистрали с выходом к Тихому океану. В этом документе она впервые названа Байкало-Амурской магистралью (БАМ).

В 1931 году «Дальжелдорстроем» НКПС (Народного комиссариата путей сообщения) проведены рекогносцировочные изыскания по направлениям: Ключи - Киренск, Бочкарево - Николаевск-на-Амуре, Большой Непер - Алдан - Якутск, Хабаровск - Советская Гавань.

В 1932 году в соответствии с решением ЦК ВКП(б) и СНК СССР от 13 апреля о сооружении Байкало-Амурской магистрали по ней были начаты изыскательские работы.

В 1937 году Постановлением ЦК ВКП (б) и СНК СССР в системе «Союзтранспроекта» НКП создана специальная контора по изысканиям и проектированию Байкало-Амурской железнодорожной магистрали - «БАМтранспроект», которая в связи с началом строительных работ в 1939 году передана в НКВД и реорганизована в Управление «БАМпроект» ГУЖДС НКВД и возглавила все работы по изысканиям и проектированию магистрали.

С 1937 по 1942 год «БАМпроект» было окончательно установлено генеральное направление магистрали: Тайшет - Усть-Кут – Нижнеангарск – Чара – Тында – Ургал - Комсомольск-на-Амуре - Советская Гавань. Были составлены проектные задания и технические проекты по отдельным участкам, станциям, крупным мостовым переходам.

За этот период построены подходные к магистрали железнодорожные линии:

- в 1937 году - Бамовская-Тында (178км)
- в 1938 году – Волочаевка-Комсомольск (333км)
- в 1940 году – Известковая-Ургал (339км). (рис.3)



*Рис. 3. Строительство  
подходных железнодорожных  
линий к магистрали. 1937-1940  
гг.*

На первоочередных участках БАМа Тайшет-Лена и Комсомольск – Советская Гавань также началось строительство.

С началом Великой Отечественной войны изыскательские и строительные работы были прерваны и возобновились лишь по окончании строительства южной и северной частей волжской рокады под Сталинградом, где было использовано верхнее строение пути, разобранные на линии Бамовское-Тында.

Сразу после окончания войны, в августе 1945 года, Государственный Комитет Обороны страны принял решение о возобновлении строительства Западного участка БАМа. В условиях разрушенного войной хозяйства строительство шло трудно и нередко приходилось укладывать старогодные рельсы на недосыпанное земляное полотно, скрепляя их деревянными накладками, чтобы организовать поездную возку грунта для полной отсыпки земли и затем заменить рельсы новыми. В июле 1951 года поезда пришли к берегу Лены - в Усть-Кут, и строительство БАМ было приостановлено.

На восточном участке Урал-Комсомольск в этот период было открыто рабочее движение поездов от Комсомольска до станции Вели (Березовская) протяженностью 203 км, а со стороны Урала построены земляное полотно и искусственные сооружения на первых 73 км, включая перевальный Дуссе-Алиньский тоннель длиной 1807м, опоры большого моста через реку Амгунь. (рис.4)

*Рис. 4. Зброшеный портал Дуссе-Алиньского тоннеля.*



На трассе Байкало-Амурской магистрали на протяжении последующих 20 лет производились изыскания различной точности. Результаты этих работ использовались при осуществлении изысканий и проектировании БАМа в последующие годы.

В 1967 году на основании решения директивных органов возобновились проектно-изыскательские работы. Генеральными проектировщиками по участкам БАМ были назначены институты Главтранспроекта Минтрансстроя (Министерства транспортного строительства):

- «Томгипротранс» - Усть-Кут (Лена) - Байкальский тоннель -290 км,
- «Сибгипротранс» - Байкальский тоннель - Чара (искл) -711км,
- «Ленгипротранс» - Чара (вкл) – Тында (искл) – 630 км,
- «Мосгипротранс» - Тында (вкл) - Урал (вкл) – 967 км,
- «Дальгипротранс» - Урал (искл) – Комсомольск–на–Амуре – 503 км.

Общее руководство, разработка «Основных технических решений для проектируемой магистрали», анализ генерального направления в новых нормах проектирования выполнялись «Мосгипротрансом». Проектирование отдельных наиболее сложных объектов, решение научных проблем осуществлялось также специализированными институтами Минтрансстроя и МПС и значительным числом научно- исследовательских и проектных организаций других ведомств.

За период изысканий, разработки, рассмотрения и утверждения технических проектов с 1967 по 1977 год неоднократно изменялись исходные данные: размеры перевозок, род поездов, параметры земляного полотна и другие.

После проведения всех необходимых корректировок технические проекты БАМ в мае-октябре 1977 года были утверждены Советом Министров СССР.

Нашим институтом «Ленметропроект» (в то время филиалом «Метрогипротранс») вместе с «Метрогипротрансом» в 1967-1969 годах были разработаны основные положения проектирования Байкальского и Северомуйского тоннелей в 2-х вариантах: однопутный железнодорожный тоннель и двухпутный железнодорожный тоннель. От «Ленметропроекта» в этой начальной работе участвовали: В.И. Медейко, И.К. Сахиниди, А.М. Таль (ГИП), Г.А. Скобенников, В.Г. Соболев, Э.Л. Надежный, Е.Н. Епифанова, Н.И. Кулагин, И.В. Тимофеева, В.И. Егоров, В.М. Рюмин, Т.С. Надежная, Б.М. Розенгауз, Ю.С. Пестов, К.Н. Панов, В.И. Харгинен, Г.И. Белявская, Л.А. Беляева, А.Ф. Чикаев, Р.А. Давыдова, И.Н. Шубин, С.Я Нагорный и др. (рис.5)



*Рис. 5 Первая делегация строителей и проектировщиков на Северомуйском хребте (Ангараканское седло). Лето 1973 г.*

Следующий этап, предшествующий началу строительства,-август 1973 года. По распоряжению министра транспортного строительства Е.Ф. Кожевникова на трассу БАМ выезжала группа тоннельщиков «Главтоннельметростроя» (С.Н. Власов, Ф.П. Ковалева), «Ленметропроекта» (В.И. Медейко, Н.И. Кулагин). и изыскателей «Сибгипротранса» (Э.А. Приц, Ю.Г. Григоровский). Эта группа, пролетев и проехав от Хабаровска до перевала Даван, осмотрела места строительства тоннелей, наметила места стройплощадок, подготовила предложения по организации строительства и представила министру доклад. (рис.6)



*Рис. 6 Место будущего поселка у западного портала Северомуйского тоннеля. Здесь же посадочная площадка вертолета.*

А дальше события раскручивались с чрезвычайной стремительностью. 19 ноября 1973 года - совещание у министра транспортного строительства. Утвержден приказ «О мероприятиях по развертыванию в 1974 году подготовительных работ к строительству БАМ». Поставлены задачи (и изыскателям, и проектировщикам) по выдаче проектно-сметной документации на намечаемые к строительству объекты 1974 года.

12 декабря 1973 года - совещание у начальника «Главтранспроекта» И.Н. Мурашкина. Доведение до всех участников конкретных задач и сроков. В январе 1974 года создан «ТО-11» «Бамтоннельстроя».

28 января 1974 года - обращение начальника «Ленметропроекта» В.И. Медейко к руководству главка с просьбой (в связи с предстоящим большим объемом работ):

- об увеличении численности «ЛПМ» на 25 человек;
- о приеме дополнительных молодых специалистов-тоннельщиков;
- о бронировании офицеров запаса;
- о бесплатных железнодорожных билетах для сотрудников «ЛМП».

Январь-март 1974 - институты разрабатывают ТЭО: «Ленметропроект» - Байкальского и Северомуйского тоннелей, «Армгипротранс» - Нагорного

тоннеля. Проектируют рабочую документацию стройплощадок, врезок первых забоев с порталов, проводят согласования с появившимися строителями – «ТО-П» (Кобляков).

17 июня 1974 года С.Н. Власов – главный инженер «Главтоннельметростроя» утверждает график выпуска чертежей для тоннелей БАМ за 1974 г.

«Ленметрострой» создает ГРП (группу рабочего проектирования) в поселке Нижнеангарск. Первые участники этой группы – В.И. Хергинен, Г.И. Белявская, В.Г. Самосудов, И.Н. Шубин и другие.

Всего за время освоения строительных площадок и строительства тоннелей Байкало-Амурской магистрали в составе групп рабочего проектирования (до создания «Бамтоннельпроекта») и с авторским надзором, начиная с 1974 года, принимали активное участие следующие сотрудники «Ленметростроя» - «Ленметрогипротранса»:

Р.М. Александрова, Л.А. Беляева, Г.И. Белявская, А.У. Бичурин, М.А. Волгин, Ю.М. Гродзицкий, Р.А. Давыдова, Т.А. Данилова, В.В. Дарвина, В.Н. Добринькова, А.А. Домбровский, С.Е. Дукаревич, В.Г. Иванов, И.Ю. Иванова, П.Н. Иовлев, Н.Б. Каялова, Г.Н. Клемидина, М.А. Клещук, В.В. Кошелькова, Н.И. Кулагин, Е.В. Назаров, И.А. Николаева, Ю.С. Пестов, С.Э. Румынский, В.Г. Самосудов, Л.М. Самсон, В.Ф. Татарников, Т.В. Титкова, С.В. Титов, В.И. Усанова, Ю.Н. Фирсов, В.И. Харгинен, Г.П. Шаргун, А.Н. Шешуков, И.Н. Шубин, А.В. Шур, Э.М. Юшковский. (рис.7)



*Рис. 7 Группа рабочего проектирования в Нижнеангарске:*

*В.Г. Самосудов, Ю.Н. Фирсов, Е.В. Назаров, Ф.Г. Большанин, В.В. Дарвина, Г.И. Белявская, И.Н. Шубин, В.Г. Иванов, Т. Черненко и работник «Бамтоннельстроя» В.П. Тарасюгина*

И руководство института, выезжавшее на БАМ в составе высоких комиссий, совещаний, на авторский надзор и т.п., начиная с 1973 года: В.И. Медейко – начальник, И.К. Сахиниди – главный инженер, Ф.Г. Большанин – ГИП по тоннелям БАМ, позже главный инженер института, М.Л. Покрывалов – ГИП по тоннелям БАМ.

8 июня 1974 года опубликовано знаменательное Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 561 «О строительстве Байкло-Амурской магистрали». Это пример из прошлого, как планоно и фундаментально решались государственные задачи. Главное в нем - построить в 1974-1983 годах БАМ протяженностью 3145 от Усть-Кута до Комсомольска-на-Амуре. Но кроме этого, в тринадцати приложениях к нему намечены меры для решения этой задачи и исполнители: сроки разработки проектов и ввода участков, энергоснабжение, финансирование, поставку строительного оборудования, льготы работающим, задание на подготовку молодых специалистов и еще - одобрена инициатива ЦК ВЛКСМ, объявившим БАМ Всесоюзной ударной комсомольской стройкой.



*Рис. 8. Всесоюзный ударный комсомольский отряд имени XVII Съезда ВЛКСМ в Кремлевском Дворце Съездов*

Проектировщиков подгоняют с разработкой рабочей документации.

Напряженная работа строителей и проектировщиков была под контролем не только главков, но и местных властей. Вот пример:

25.12.1974 г. Куйбышевский РК Народного контроля Ленинграда рассматривал ход проектирования тоннелей БАМ «Ленметропроектом». В справке «ЛМП», подписанный И.К. Сахиниди (исполняющим обязанности начальника «ЛМП»), секретарем партийной организации А.Ф. Чикаевым, председателем группы Народного контроля В.И. Акатовым значилось: «В соответствии с указанием Министра транспортного строительства И.Д. Соснова от 28 апреля срок выпуска технических проектов сокращается на один месяц и соответственно переносится на 30 мая 1975 года».

По состоянию на 30 апреля 1975 года выполнено:

- с участием представителей «Главтранспроекта» и «Метрогипротранса» пересмотрены составы проектов с целью сокращения объема проектно-сметной документации:

- издан приказ по «Ленметропроекту», закрепляющий постоянный состав проектировщиков, занятых разработкой документации по тоннелям БАМ, а также рабочей группы для выезда на место работ:

- разработаны мероприятия для перевода сотрудников на аккордную работу с выдачей каждому исполнителю конкретного задания и наряда;
- пересмотрены технологические графики выпуска проектно-сметной документации;
- выпущена проектно-сметная документация по первоочередным работам на стадии рабочего проекта силами «Ленметропроекта».

К 30 мая 1975 года «Ленметропроект» («ЛМП») закончил разработку технических проектов Байкальского и Северомуйского тоннелей и передал их в экспертизу МПС.

К 7 июля 1975 года выполнена экспертиза МПС этих проектов. В ней рекомендовано строить сначала первый тоннель со штольной стоимостью 333655 рублей, второй – потом, в перспективе (стоимостью 14872 рубля). (рис. 9).



*Рис. 9 Строительство Нагорного тоннеля. Врезка с портала калоттным профилем.*

Технические проекты были утверждены Советом Министров СССР со сроком строительства первого тоннеля семь лет и сдачей его в эксплуатацию в 1982 году.

В 1975-1976 году уже начато строительство Нагорного (1975 г.) и Байкальского (1976 г.) тоннелей. Объемы работ возрастают.

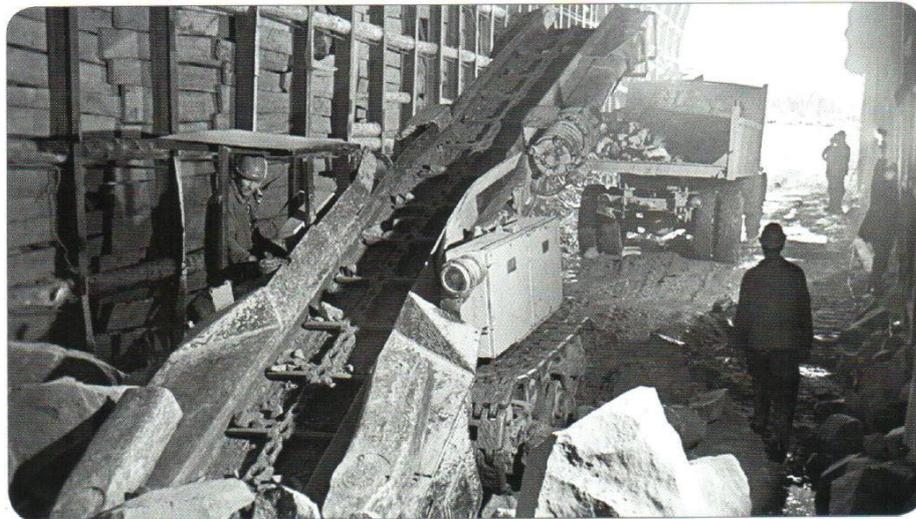
19 июля 1977 года издан приказ Минтрансстроя № 83 об образовании Северобайкальского филиала «ЛМП» «Бамтоннельпроект» с целью решения возросших задач и приближения проектировщиков к стройке.

4 января 1978 года на БАМ вылетели его первые сотрудники: начальник филиала Н.И. Кулагин и начальник электротехнического отдела Р.В. Эккель.

Сначала первая комната в Нижнеангарске, затем шесть квартир в Северобайкальске рядом с высоким берегом реки Тья. (рис. 10), (рис. 11).



*Рис. 10 Начало строительства западного порталного участка Байкальского тоннеля.*



*Рис. 11 На проходке Северомуйского тоннеля.*

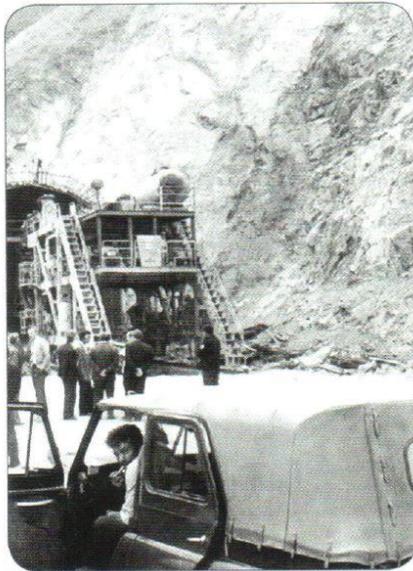
К маю уже есть небольшой коллектив: В.А. и Г.М. Соколовы, А.Д. Турьев, Л. Соколышкова, О.И. Рыбин, Р.В. Эккель, Н.И. Кулагин, В.С. и В.В. Долговы. Чуть позже - из «Киевметрострой» приехал главный инженер филиала А.И. Салан.

Вскоре прибыл первый контейнер из Ленинграда: мебель, канцелярия, затем и первая машина «УАЗ». Летом 1978 года начинается врезка с порталов Северомуйского тоннеля щитов диаметром 9,5 м и начинается проходка.

Стройка разворачивается, филиал крепнет, уже имеет свое здание. Работы ведутся на БАМе, в Ленинграде, Киеве, Донецке, Москве.

К дню комсомола в октябре 1978 года рельсы и поезд пришли с запада на перевал Даван, а через год - в Северобайкальск.

В ноябре 1978 года - врезка второго и первого Мысовых тоннелей на побережье озера Байкал. (рис. 12-13).



*Рис. 12 Врезка на Мысовом тоннеле № 1*



*Рис. 13 Стелла Мысовым тоннелям*

Строительство постоянно находилось под контролем на всех уровнях, вплоть до самого верха: Главк, Минтрансстрой, Госстрой, Стройбанк СССР, Комитет народного контроля СССР, Комиссия Совмина.

В июле 1979 года комиссия Госстроя СССР, рассмотрев ход строительства тоннелей на месте строительства, отмечает, что на 01.01.1979г уже пройдено:

- по Байкальскому тоннелю – 2672 м, по штольне – 3375 м;
- по Северомуйскому тоннелю – 695 м, по штольне – 1017 м;

Отмечено отставание строительства. Особенно задержалась проходка ствола на Северомуйском тоннеле. Но отмечено также, что филиал института «Ленметрогипротранс» «Бамтоннельпроект» («БГП») оперативно вносит в рабочий проект коррективы и своевременно уточняет проектно-сметную документацию.

Строительство магистрали шло полным ходом: западный участок до Тынды - организациями Минтрансстроя, восточнее Тынды - силами железнодорожных войск.

Сложностей была масса:

- необжитость районов;
- притрассовые дороги;
- многоступенчатое энергоснабжение;
- вопросы экологии (Ангара, Байкал);
- суровость и сила природы, особенно в тоннелях: сейсмика, исключительно сложная геология, большое горное давление и притоки до  $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$  на забой при аварийных прорывах, с температурой воды от  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $+57 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Природа нехотя сдавала свои позиции. Были прорывы грунта и воды в забой, человеческие жертвы, пожары, длительные остановки – на Северомуйском, Кодарском, Мысовых тоннелях.

Приходилось корректировать сроки ввода участков в эксплуатацию, несколько раз переутверждать проекты. Раз в квартал проходило заседание Комиссии Совмина по БАМу.

Прошли мы через суровые кабинеты министров, членов ЦК и Совета Министров - В.А. Брежнева, В.И. Долгих, Г.А. Алиева.

Оправдывались и доказывали свою правоту перед различными комиссиями. Так, одна из них (1984г) была в составе 51 человека, в том числе 8 академиков. 22 доктора наук, 8 кандидатов наук. Сколько раз ставилась под сомнение возможность вообще построить Северомуйский тоннель!

Несколько раз (1938, 1940, 1947-1948, 1968-1970, 1976, 1984) поднимался вопрос о правильности выбора трассы Северомуйского тоннеля (всего было 30 вариантов).

«Ленметрогипротранс» и «Сибгипротранс» обвинялись в «основной ошибке проектировщиков (которых надо было обезвредить!), сравнимой с диверсией, об осуществлении которой только могла мечтать иностранная разведка». Но всегда удавалось доказать, что трасса выбрана оптимально на последующую многовековую эксплуатацию БАМ.

Чтобы скорее ввести БАМ в эксплуатацию, барьерные места обходили. Так были построены временные обходы Байкальского и Кодарского тоннелей. На Северомуйском тоннеле две обходные трассы - с уклонами 40% и 18 % (с двумя тоннелями). Действовал обход и вокруг Мысовых тоннелей, где трасса железной дороги шла вдоль берега Байкала рядом с автодорогой.

БАМ строила вся страна: Минтрансстрой, железнодорожные войска, Республики и города-шефы стройки. Комсомольцы и несоюзная молодежь, коммунисты и беспартийные. На БАМе трудились стройотряды вузов, там проходили практику студенты, будущие строители.

По мере завершения строительства отдельные участки магистрали вводились сначала во временную эксплуатацию. А в сентябре 1984 года был забит «золотой костыль», и магистраль начала свою жизнь, правда, пока еще без Северомуйского тоннеля, с обходной трассой длиной 54,7 км и двумя тоннелями на ней. БАМ это:

- 3110 км трассы;
- 4616 км путей, в том числе 3390 км - главных;
- 1595 мостов, в том числе 113 шт. больших;
- 10 тоннелей, в том числе 9 - наших, общей длиной 33 км и общей длиной всех выработок около 60 км.

А что означало проектирование тоннелей БАМа для нас - проектировщиков?

1. Это колоссальный опыт проектирования в любых, самых сложных условиях.

2. Это работа над проектами с использованием иностранной техники (проходческой и для спецработ), купленной в странах Европы, Азии и Америки.

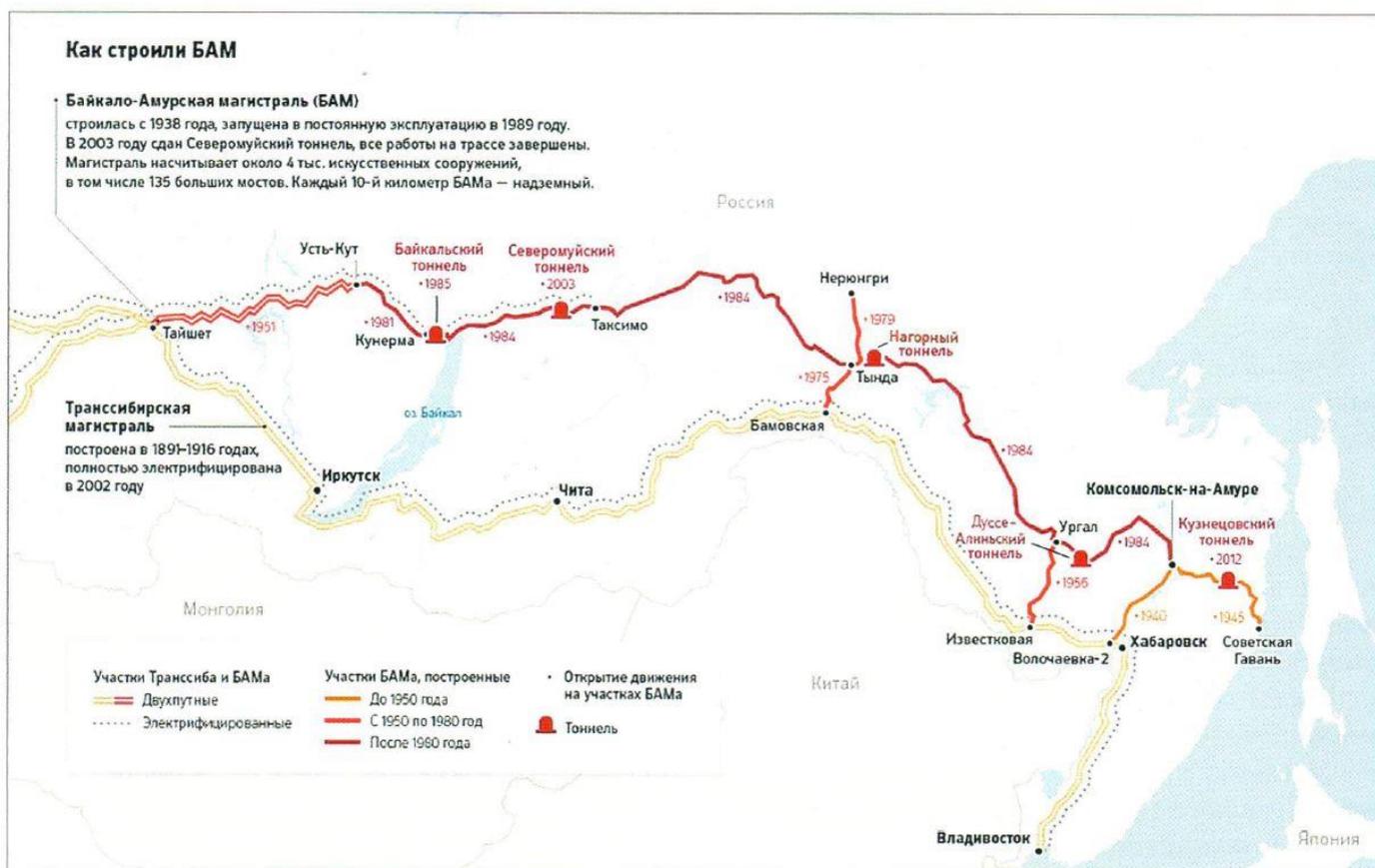
3. Это создание на основе «Бамтоннельстроя» различных строительных организаций по всей стране, и со всеми мы умели работать, имели хорошие

взаимоотношения (Новосибирск, Екатеринбург, Дальний Восток, Юг, Казань и др.)

4. Это огромный опыт и закалка кадров в работе на месте строительства, в авторском надзоре и многочисленных комиссиях и экспертизах.

5. Это огромный интеллектуальный потенциал, сконцентрированный в наших архивах, в наших умах. Это только чертежей «ЛМП»-«ЛМГТ» около 12 тысяч.

Это для многих из нас молодость, первая или вторая, это целая жизнь! 84 человека нашего института награждены медалью «За строительство БАМ», несколько человек – орденами, 5 человек - М.Л. Покрывалов, А.И. Салан, К.П. Безродный, А.Н. Соловьев, Н.И. Кулагин награждены Премией Совета Министров СССР (1991г) «За разработку и реализацию прогрессивных технических решений по строительству горных железнодорожных тоннелей в особо тяжелых инженерно-геологических и сейсмических условиях». (схема)



На восточном портале Северомуйского тоннеля состоялся митинг и праздничный концерт, посвященный присвоению этому тоннелю, самому длинному железнодорожному тоннелю России (15343 м), имени Героя Социалистического Труда СССР, бывшего начальника «Бамтоннельстроя» Владимира Аслан-Бековича Бессолова. Представители Народного Хурала Республики Бурятия поблагодарили тоннельщиков за их инициативу назвать тоннель именем В.А. Бессолова. На лицевой стене портала тоннеля была укреплена памятная доска, здесь же у портала состоялся концерт, затем в поселке Северомуйск. С приветствием к собравшимся выступил от имени Правления Тоннельной ассоциации России Н.И. Кулагин, многие годы работавший на строительстве и проектировании тоннелей БАМа вместе с В.А. Бессоловым.



*В.А.Б. Бессолов*



*Праздничный концерт на восточном портале Северомуйского тоннеля*



*Открытие памятной доски Владимира Аслан-Бековича Бессолова*

*Дорогие товарищи, коллеги!*

*Мы собрались у восточного портала Северомуйского железнодорожного тоннеля. Его длина 15343 м. Это самый длинный в бывшем СССР железнодорожный тоннель. Он вписан в книгу рекордов России не только из-за своей длины. При его строительстве были преодолены колоссальные трудности: неосвоенный в то время край, оторванность от дорог, сейсмика до 9-10 баллов, исключительно тяжелые инженерно-геологические условия – грунты от песков и перетертых глин до скальных прочностью до 3500 кг/см<sup>2</sup> при температуре подземных вод от 1-2°С до 57°С. Температура летом и зимой от + 40°С до – 57°С. Глубина горы над тоннелем – до 900 м.*

*Оглянитесь, пожалуйста! Вы видите обелиск. На нем отлиты в бронзе замечательные слова: «Слава уму и рукам людей, создавших этот замечательный тоннель!»*

*На строительстве Северомуйского тоннеля трудился огромный коллектив тоннельщиков: искателей «СГТ», проектировщиков «ЛМГТ» и «БТИ», ученых «ЦНИИСа», строителей «Бамтоннельстроя», «Шахтостроитель» и других подразделений. Эти люди приехали на эту величайшую стройку*

со всех концов нашей великой страны: из Ленинграда, Москвы, Харькова, с Кольского полуострова, с Донбасса, с Урала. Это был многонациональный коллектив. И во главе этого коллектива долгие годы стоял замечательный инженер, выдающийся организатор, Герой Социалистического Труда, лауреат Премии Совета Министров СССР Владимир Аслан-Бекевич Бессалов. Он прекрасно проявил себя на строительстве Московского метрополитена, в 1976 году был назначен главным инженером «БТС», а с 1980 года почти до конца строительства – начальником «БТС».

Под его руководством «Бамтоннельстрой» вел проходку всех тоннелей БАМа, а это 33 км собственно тоннелей, 57 км всех выработок, включая штольни, стволы и сбойки.

Здесь были внедрены многие передовые технологические решения, многие отечественные и зарубежные горнотранспортные комплексы – циты «Ловат», «Роббитис», «Вирт», оталубки Японии, буровые станки и рамы Швеции. Много отечественных разработок также внедрено впервые здесь, на строительстве этих тоннелей. И В.А. Бессалов как руководитель «БТС» вел и направлял работу всего коллектива к решению всех возникающих вопросов, преодолению многих и многих трудностей и тяжелых сюрпризов, которые преподносили нам горы.

Трезвость и холодность ума, чутье подземного строителя, богатый опыт, вера в успех, умение повести за собой, порой и в буквальном смысле слова, – вот черты, характеризующие Владимира Аслан-Бекевича. Умение взвесить все плюсы и минусы технических предложений, выслушать инженеров – это все также отныне к нему как руководителю научно-технического творческого совета, работавшего в те годы в «БТС». Ему можно поставить в заслугу и умение добиваться у руководства Минтрансстроя, МПС, у руководства Госстроя, Госбанка СССР, Бурятской республики решения важных вопросов, от которых зависели сроки выполнения графиков строительства, снабжения, строительства социальных объектов, поставки техники. И, конечно же, он сплотил коллективы многих тоннельных отрядов и других подразделений в единую мощную организацию, которая и сегодня, в новых, совершенно других условиях, является передовой в подземном строительстве, в том числе и на Олимпийских тоннелях в Сочи.

Дорогие друзья! Мы, тоннельщики, рады и благодарны руководству РЖД, Восточно-Сибирской железной дороги, руководству Бурятской республики за поддержку нашего предложения о присвоении Северомуйскому тоннелю, самому длинному на сегодня железнодорожному тоннелю в России, имени выдающегося инженера и организатора подземного строительства В.А. Бессалова. Позавчера страна отметила День России, и пусть наш второй праздник, здесь у Северомуйского тоннеля, будет знаменовать признание выдающихся заслуг В.А. Бессалова в деле транспортного строительства во славу нашей Родины и на благо нашего народа!

Я закончу словами из поэмы «Я защищаю БАМ» Леонтия Григорьевича Махипарова, главного инженера Дирекции строительства БАМа, позже главного инженера Байкало-Амурской железной дороги (до 1997 г.):

*Живи и здоровей вечно, магистраль,  
Живи и здоровей, бамовцев плеяда,  
Храни всегда в своей душе печаль  
О тех, кто не дожид до этой даты,  
Кого лишила радости судьба  
пройти весь путь сквозь «лихоходку будет»,  
Пусть им вечным памятником будет  
Живущий и работающий БАМ!*

*Советник генерального директора «Ленметроинфрастроя»,  
член Президиума Правления Тоннельной ассоциации России,  
доктор технических наук  
Н.Н. Кулагин  
14.06.2012, Северомуйск*

На обратном пути поезд шел по открытой трассе, через тоннели № 1 и 3 в отрогах Северомуйского хребта. Участники вспоминали знакомые места поселков строителей, стройплощадки, любовались долиной реки Ангаракан. А затем и чу-



*Железнодорожный вокзал в Северобайкальске*

лесным светлым новым городом Северобайкальском, построенным ленинградскими строителями, с его новыми улицами, железнодорожным вокзалом, музеем строительства БАМа и морским портом на берегу Байкала.



*Уддия Управления строительства «Бамтоиндустрой» в Нижнеангарске, где работал В. А. Бессолов*

# НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, РОЖДЕННЫЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ БАМ

*Безродный К.П., ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»*

Большая удаленность (несколько сотен километров) от транспортных магистралей, горный рельеф по трассе тоннелей, сложнейшие инженерно-геологические и гидрогеологические условия не позволяли на стадии изысканий дать полную информацию по условиям сооружения тоннелей. Поэтому было очень важным разработать методы, позволяющие уточнить инженерно-геологические и гидрогеологические условия впереди забоя тоннеля, для выбора оптимальных технологий сооружения тоннелей.

Были разработаны на уровне изобретений два геофизических метода. Один основан на регистрации естественных импульсов электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Было получено, что при проходке тоннеля, когда зона концентрации напряжений в массиве (зона опорного давления) попадает в предразломную зону, электромагнитная имиссия (ЭМИ) увеличивается, затем при продвижении забоя, когда зона опорного давления попадает в разлом (зона дезинтеграции грунтов) ЭМИ падает [ 1 ]. Второй метод - это сверхширокополосная (СШП) георадиолокация. С помощью этого метода определяли положение, размер тектонических разломов, в частности в 4 тектонической зоне Северомуйского тоннеля [ 2 ]. Следует отметить и разработку критериев необходимости инъекционного закрепления зон тектонических разломов на Северомуйском тоннеле. Критериями являлись параметры опережающего бурения из забоя, которые базируются на скорости бурения, величине гидростатического давления, объемах водопритоков, на объеме и характере выходящего шлама поинтервально из скважины [ 3 ].

Конечно к таким сложным инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям, как на Северомуйском тоннеле, наша тоннелестроительная отрасль была не готова. Не было нормативно-технических документов. Поэтому решения приходилось принимать по ходу возникновения проблемы. Для ускорения принятия решений приказами Министра путей сообщений СССР и Министра транспортного строительства СССР был создан на месте строительства временный научно-технический коллектив (ВНТК). Руководителем ВНТК был начальник "Бамтоннельстроя" Бессолов В.А., заместителем по строительству - главный инженер "Бамтоннельстроя", по проектированию - начальник "Бамтоннельпроекта", по научно-исследовательским работам - начальник филиала (лаборатории) ЦНИИС, заместителем от заказчика - начальник Северобайкальской группы заказчика.

ВНТК было дано право на месте строительства принимать решения по технологии проходки, финансового обеспечения, разработки необходимой проектно и нормативно-технической документации.

Основные препятствия представляли зоны тектонических разломов, представленные дезинтегрированными до песка и глины грунтами при

гидростатическом давлении до 5 МПа. Причем из 15,3км длины Северомуйского тоннеля зоны разломов занимали 2,6км.

Непосредственно на строительстве тоннеля разработкой технологии закрепления грунтов разломов занимались фирмы и организации: "Солетанш" Франция, "Кокен Боринг" Япония", "Спецтомпанажгеология" ССР Украина, институт химии высокомолекулярных соединений (ИХВС) АНУССР, "Ленметрогипротранс", ЦНИИС. "Солетанш" использовал технологию манжетных колонн, гидроразрыв и фильтрационную пропитку, "Кокен-Боринг" - прямое инъецирование наступающими заходками для создания армированного прожилками раствора грунта. В обоих случаях применяли растворы на основе цемента. "Спецтампанажгеология" с глинистыми растворами для водоподавления в трещиноватых скальных грунтах не смогла решать задачу в дезинтегрированных грунтах разломов. ИХВС АНУССР использовал для закрепления грунтов экзотические и дорогие растворы на основе полиизоционата и олигоэфиракрилата, которые оказались чрезвычайно дороги, экологически опасны и нетехнологичны. Должного успеха не получилось.

Специалисты "Ленметрогипротранса" разработали проект замораживания водонасыщенных грунтов разлома жидким азотом. В общем, получилось. Но были проблемы:

- деструктуризация грунтов при замораживании последующим оттаиванием;
- вывод газообразного азота из подземных выработок.

Бамтоннельстрой, лаборатория ЦНИИС и Бамтоннельпроект пошли по другому пути. В результате проведенных исследований и опытных работ было получено, что наибольший эффект при инъекционном закреплении грунтов можно добиться путем их консолидационного уплотнения и создания армирующих грунт затвердевших прожилков раствора [ 4,5 ]. Был разработан цементнохлоркальциевый раствор, где хлоркальциевая компонента имеет вязкость сравнимую с водой и при инъецировании пропитывает мелкодисперсные составляющие разлома. Давление при инъецировании доходило до 15÷20 МПа. После создания впереди забоя вокруг будущего тоннеля зоны закрепленных грунтов по ее внешней границе бурят дренажные скважины для снятия гидростатического давления [ 4 ]. Исследования показали, что интегральный модуль деформаций инъекционно закрепленного грунта в 1,5÷2.0 раза выше, чем в природном состоянии. Гидростатическое давление на закрепленный грунт с помощью дренажных скважин удавалось снизить до 0,1÷0,2 МПа. Для ускорения инъекционного закрепления разлома были использованы камуфлетные взрывы, с помощью которых в дезинтегрированных водонасыщенных грунтах образовывали горизонтальные цилиндрические полости за контуром будущего тоннеля, которые мгновенно заполняли твердеющим раствором [ 6 ].

Результатом теоретических исследований инъекционно закрепленных грунтов был разработан метод расчета косвенно армированных грунтов

прожилками раствора с использованием методов механики сплошной среды [ 7 ].

По трассе Северомуйского тоннеля со стороны западного портала был встречен мощный грабен (Ангараканская депрессия) длиной по трассе тоннеля 800м, над шельгой свода 190м, заполненный четвертичными водонасыщенными отложениями с гидростатическим давлением на уровне тоннеля 1,5 МПа.

После исследований, опытных откачек, был разработан проект комплексного водопонижения в Ангараканской депрессии для сооружения транспортно дренажной (ТРДШ) и тоннеля [ 8 ]. Вдоль трассы тоннеля и штольни были пробурены вертикальные скважины ниже лотка тоннеля и штольни. В них установили насосы глубинного водопонижения с мощными фильтровыми колоннами, которые осуществляли водопонижение с поверхности над тоннелем.

Из ТРДШ была пройдена наклонная штольня в скальных грунтах борта депрессии под тоннель и ТРДШ. Эта штольня имела несколько боковых камер, из которых с помощью двухшпиндельных станков фирмы ТОНЭ-БОРИНГ (Япония), были пробурены в четвертичных отложениях горизонтальные скважины, оснащенные фильтрами. Вода из этих скважин попадала в водоотводный лоток ТРДШ и уходила на западный портал тоннеля. Такое комплексное водопонижение позволило снизить уровень грунтовых вод ниже лотка тоннеля и успешно осуществить его сооружение.

Достаточно успешно при строительстве тоннелей БАМ был применен, разработанный для различной степени дезинтеграции грунтов впереди забоя, опережающий забой экран из труб [ 9 ].

Достаточно большой объем внедрения этого метода был осуществлен при проходке двухпутных мысовых тоннелей на озере Байкал. Тоннели расположены по берегу оз.Байкал и находятся на 50м выше уровня воды в озере. Поэтому депрессионная поверхность находится ниже лотка тоннелей, грунты по трассе тоннеля сухие, не считая инфильтрационных вод. Грунты разной степени трещиноваты, имеются достаточно протяженные участки дезинтегрированных грунтов. Предварительно были проведены теоретические, стендовые и натурные исследования. В результате было изучено напряженно-деформированное состояние экрана из труб в зависимости от продвижения забоя [ 10 ]. Получено, что трубы вступают в работу на расстоянии диаметра тоннеля впереди забоя и на этом расстоянии реализуется около 40% смещений контура будущего тоннеля. Экраны из труб применяли и при строительстве Северомуйского тоннеля, на ТРДШ и самом тоннеле при незначительном гидростатическом давлении.

Большие исследования были проведены и по конструкциям крепей и обделок тоннелей.

Во-первых, были уточнены деформативно-прочностные характеристики скальных грунтов разной степени трещиноватости, изучены природные поля напряжений. Следует отметить, что в крепких скальных грунтах прочностно на

одноосное сжатие 120÷160 МПа возводили монолитную бетонную обделку прочностью 30МПа. Этого требовали нормативные документы. Более того, по датчикам, установленным в обделке во время ее бетонирования в опалубке получали следующую картину. Вовремя гидротации цемента бетон разогревается до +50÷60С, но в это время бетон имеет большую податливость и возникающие температурные напряжения невелики. Затем происходит набор прочности бетона, увеличение модуля деформации и его охлаждения до температуры окружающей среды. Благодаря неровностям грунтового контура после буровзрывных работ и хорошей адгезии бетона к грунту в обделке возникают растягивающие напряжения. В районах, где существуют значительные градиенты суточных и сезонных температур, соответственно и напряжений, складываясь с существующими, формируют НДС обделки, которое в основном формируется температурными воздействиями [ 11 ]. Такого эффекта не возникает в набрызгбетонных обделках, которые возводятся послойно, имеют меньшую толщину и соответственно в них возникают гораздо меньшие температурные напряжения. В 1979г. на Байкальском тоннеле со стороны западного портала был сооружен 30 метровый опытный участок постоянной обделки в набрызгбетоне, который без нарушений служит по сегодняшний день. Практически по всей длине ТРДШ Байкальского и Северомуйского тоннеля за исключением зон разломов обделка выполнена в набрызгбетоне [ 12 ]. Эти исследования показали, что напряжения в слаботрещиноватых крепких скальных грунтах, вызванные сооружением тоннеля и ТРДШ, воспринимаются вмещающим массивом, а в обделке действуют напряжения, вызванные температурными воздействиями. При уровне действующих напряжений скальный массив работает без нарушения сплошности. Причем в набрызгбетонных обделках напряжения незначительны, благодаря их малой толщине и послойного нанесения, что приводит к небольшим температурным градиентам по их толщине.

В то время, как было отмечено выше, в монолитных бетонных обделках растягивающие напряжения близки к пределу прочности бетона.

Для сооружения тоннелей в сильтрещиноватых и дезинтегрированных грунтах тектологических разломов, как однопутных, так и двухпутных тоннелей, была разработана технология проходки с применением арочно-бетонной крепи [ 13 ]. Затем были выполнены исследования, результатом которых была конструкция двухслойной обделки [ 14 ]. Наружным слоем этой обделки была арочно-бетонная крепь, которая учитывалась при расчете постоянной обделки. Причем конструкция такой обделки такова, что на внутренний слой растягивающие напряжения при землетрясениях не передаются. Такие сейсмостойкие обделки были сооружены на двухпутных мысовых тоннелях и однопутном - Северомуйском.

Следует отметить, что при строительстве тоннелей БАМ были встречены и вечно мерзлые грунты, где были разработаны специальные технологии.

Таким образом, сложнейшие условия строительства тоннелей БАМ стали толчком для создания новых технологий и конструкций, а

тоннелестроительная отрасль СССР приобрела новый технический уровень и высококвалифицированных специалистов в тоннелестроении.

#### Литература

1. Басов А.Д., Безродный К.П. "Обнаружение зон разломов бесконтактным методом". - Метрострой. - №2, 1991г., с.24÷25
2. Мацегора А.Г., Безродный К.П., Горин Г.Г., Козик Н.В., Куксин В.А. - "Определение необходимости упрочнения грунтов зон тектонических нарушений". - Транспортное строительство - №5, 1989г., с. 18÷20
3. Болтинцев В.Б., Ильяхин В.Н., Безродный К.П., Нагорный С.Я., Крикленко К.А., Скакун А.П. - "Геофизические методы для оценки инженерно-геологических условий и устойчивости пород впереди забоя во время сооружения тоннеля". - М., 28÷31 октября 2002г., с. 441÷445
4. Руководство по физико-химическому укреплению грунтов при строительстве Северомуйского железнодорожного тоннеля. - М., ЦНИИС, 1989г., 143с.
5. Безродный К.П., Мацегора А.Г., Бессолов В.А., Касапов Р.И. "Технология преодоления зон тектонических разломов с применением инъекционного укрепления грунтов". - Научно-технический информационный сборник. - М., ВПТИ Трансстрой, №22, 1990, с.3÷14
6. Безродный К.П., Мацегора А.Г., Бессолов В.А., Басов А.Д., Нестеровский А.Л. - "Упрочнение грунтов с использованием энергии взрыва". - Транспортное строительство - №10, 1988г., с.27÷29
7. Мацегора А.Г., Безродный К.П., Саммаль А.С., Фотиева Н.Н. - "Проектирование и технология инъекционного закрепления грунтов при строительстве транспортных тоннелей". - ОАО "Ленметрогипротранс", М., 1997, 90 стр.
8. Мацегора А.Г., Безродный К.П., Бессолов В.А., Грибарь А.В. - "Комплексное водопонижение при преодолении протяженных зон водонасыщенных грунтов". - Научно-технический информационный сборник. М., ВПТИ Трансстрой, №22, 1990, с.5÷20
9. Рекомендации по применению опережающих экранов из труб при сооружении транспортных тоннелей. ЦНИИС, М., 1988, 47 стр.
10. Власов С.Н., Безродный К.П., Сильвестров С.Н., Бессолов В.А. - "Проходка тоннелей большого сечения с применением опережающей крепи". - Транспортное строительство, 1985, №8, с.22÷24
11. Трунев В.Г., Горбатов В.Г., Безродный К.П. - "Исследование температурных полей системы обделка породы тоннелей БАМа". - Сб. научных трудов ЦНИИС "Рациональное использование трудовых, материальных и топливно-энергетических ресурсов в транспортном строительстве", ЦНИИС, М., 1984, с.37÷41
12. Рекомендации по применению набрызгбетона в качестве постоянной обделки тоннелей БАМ. Сильвестров С.Н., Безродный К.П. М., ЦНИИС, 1984, 17 стр.
13. Рекомендации по проектированию и строительству тоннелей с применением арочно-бетонной крепи, учитываемой в составе постоянной обделки. М., ВНИИТС, 1992, М., 51 стр.
14. Бессолов В.А., Безродный К.П. Строительство тоннелей Байкало-Амурской железнодорожной магистрали. - Подземное и шахтное строительство. - №3, 1991, с.17÷20.

# НАДЕЖНОСТЬ ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕВЕРОМУЙСКОГО ТОННЕЛЯ

*Лебедев М.О., Исаев Ю.С., Басов А.Д., Бойко О.В., Романевич К.В., Ларионов Р.И.*  
 ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»  
 Трунев В.Г. ООО НИЦ «Бамтоннель»

Действующий Северомуйский тоннель (СМТ) в однопутном исполнении с параллельной транспортно-разведочно-дренажной штольней (ТРДШ) был сдан в эксплуатацию в 2004 г. Его строительство велось почти 30 лет, что было связано с необычно сложными природными условиями, недостаточной изученностью трассы тоннеля на стадии изысканий, отсутствием опыта проектирования и строительства тоннелей в сложных горно-геологических условиях. Сложность природных условий была обусловлена тем, что СМТ располагался в сейсмичной Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) с вероятным проявлением землетрясений интенсивностью более 9 баллов. Высокая сейсмическая активность территории связана с неотектоникой, развитием новейших тектонических структур [1].

По инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям строительства СМТ длиной 15.3 км и глубиной заложения в Гольцовой части до 1 км является одним из наиболее сложных тоннелей мира. Блоково-разрывное строение Муякан-Ангараканского междуречья явилось характерной особенностью геологии СМТ. Вдоль трассы тоннеля при уточнении геологических условий проходки в ходе строительства были выделены структурные блоки, местоположение которых указано в табл. 1.

Таблица 1  
 Местоположение структурных блоков

Тектонические блоки III порядка	Привязка	
	пикеты по поверхности до	пикеты по тоннелю от до
Западный	65+56 ÷ 18+50	65+56 ÷ 18+00
IV тектоническая зона	18+50 ÷ 07+10	18+00 ÷ 08+10
Гольцовый блок	07+10 <sub>зап</sub> ÷ 26+80 <sub>вост</sub>	08+60 <sub>зап</sub> ÷ 26+45 <sub>вост</sub>
Троговая тектоническая зона	26+80 ÷ 29+60	26+45 ÷ 31+47
Промежуточный тектонический блок	29+60 ÷ 38+10	31+47 ÷ 39+70
III тектоническая зона	38+10 ÷ 47+70	39+70 ÷ 45+80
Восточный блок В и его тектонические блоки IV порядка:	47+70 ÷ 89+03	45+80 ÷ 89+03
V <sub>1</sub>		45+80 ÷ 53+50
V <sub>2</sub>		53+50 ÷ 70+00
V <sub>3</sub>		70+00 ÷ 81+10
V <sub>4</sub>		за пределами тоннеля

Горные породы СМТ представлены гранитами, которые в тектонических зонах в разной степени разрушены до состояния песка и глины. Устойчивость гранитов в забоях подземных выработок зависит от их прочностных свойств, трещиноватости и водонасыщенности. Раскрытие трещин и их водонасыщенность определяются напряженным состоянием и его видом: если преобладает напряжение растяжения, то раскрытие и водопроницаемость горных пород выше, а преобладание напряжений сжатия способствует закрытию трещин и уменьшению водопроницаемости и водообильности горных пород. Общая протяженность разломных зон по трассе тоннеля и штольни составила около 1/3 его длины.

При строительстве тоннеля были смонтированы замерные станции, оснащенные датчиками (Рис.1), фиксирующими местные суммарные деформации конструкций от горного давления, гидростатики и температурных воздействий. По измеренным местным деформациям вычисляются суммарные напряжения от всех воздействий.

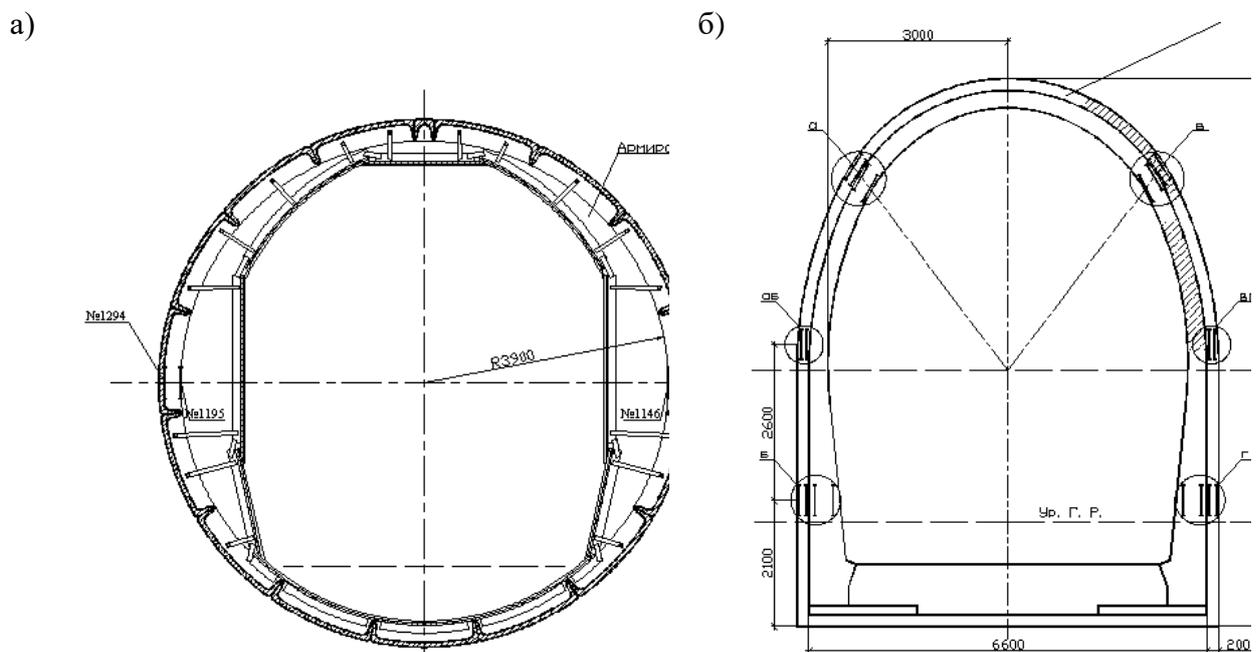


Рис.1. Характерный вид замерных станций, оснащенных датчиками: а – чугунная тьюбинговая обделка (с датчиками на горизонтальном диаметре) с обоймой усиления в зоне ангараканской депрессии Западного тектонического блока; б – временная арко-бетонная крепь и постоянная обделка из монолитного железобетона в IV тектонической зоне.

Система замерных станций по трассе тоннеля предназначена для измерения, регистрации и оперативного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций крепи и обделки Северомуйского тоннеля на воздействия горного и гидростатического давлений с учетом температурных напряжений, а также вычислением напряжений в обделках

тоннеля от горного давления и сравнение результата с запасом несущей способности.

Получаемые данные служили основой оперативного контроля напряженно-деформированного состояния Северомуйского тоннеля, находящегося под воздействием горного и гидростатического давлений, а также сейсмопроявлений, своевременного вмешательства в конструктивные изменения обделок.

Замерные станции на Северомуйском тоннеле были смонтированы, начиная с 1978 г., в различных горно-геологических условиях и предназначались для определения проявления горного и гидростатического давления, сил температурного и сейсмического воздействия на обделки основного тоннеля и транспортно-разведочно-дренажной штольни (ТРДШ).

Наличие таких замерных станций оказало большую роль в выборе рациональных конструкций крепи и обделки, а также в технологии их сооружения [2,3].

Учитывая высокую сейсмическую активность района строительства СМТ, особое внимание при строительстве и эксплуатации тоннеля уделялось проявлениям напряженно-деформированного состояния в виде остаточных деформаций, которые были зарегистрированы при долговременных наблюдениях на замерных станциях и расчетов соответствующих напряжений [4, 5]. По состоянию на 1989 г. на СМТ в работе находилось 18 замерных станций с датчиками деформометрами ПЛДС-400.

На рис. 2 приведены результаты измерений деформаций на замерной станции № 12. Видно, что два датчика среагировали активно в июне 1988 г. на землетрясение с  $K = 13$  с эпицентром, расположенном примерно в 40 км от этой замерной станции. Также отмечены скачки деформаций, которые можно связать с землетрясениями 1986 г. – одним в апреле и двумя парами землетрясениями в мае и июле с  $K = 11$ . Максимальные остаточные деформации составили  $-2 \cdot 10^{-4}$ .

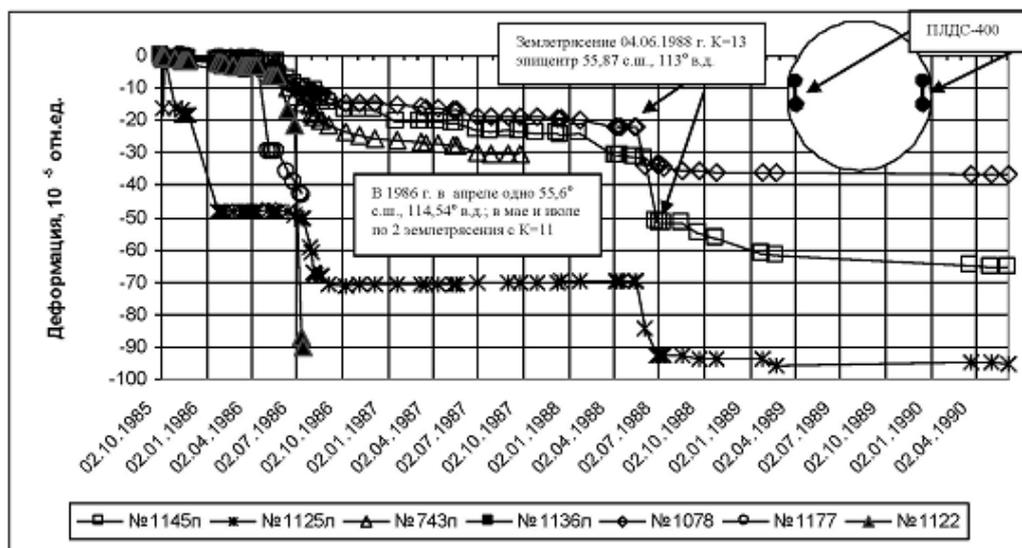


Рис. 2. Результаты долговременных измерений деформаций на замерной станции №12 ТРДШ пикет 45+80. Деформометры ПЛДС-400 установлены на ж/б тубинги.

Для обеспечения безопасной эксплуатации Северомуйского тоннеля при его строительстве и первых годах эксплуатации создавалась система геодинамической безопасности (геотехнический мониторинг - ГТМ) тоннеля в составе АСУ ТП. В данную систему входили автоматизированные системы сейсмомониторинга и контроля напряженно-деформированного состояния вмещающего массива методом естественных импульсов электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Большая часть этого проекта была реализована – в тоннеле установлены датчики, размещено оборудование (рис.3), выполняющее измерения по датчикам, проложены кабельные линии для передачи информации в помещение АСУ ТП, расположенном на Восточном портале. Оставалось выполнить только пуско-наладочные работы. К сожалению финансирование работ на этом было закончено.

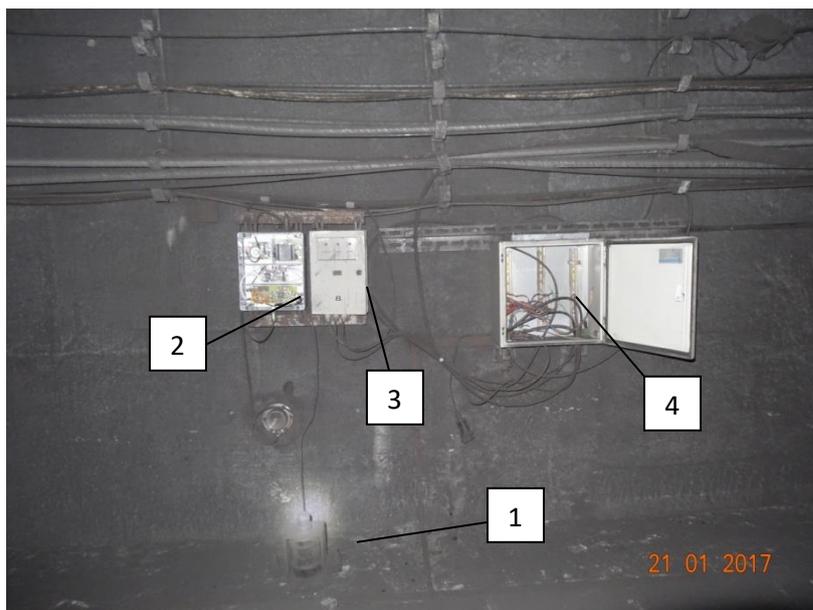
На этом фоне контрастно выделяется система геодинамической безопасности (геотехнического мониторинга), реализованная при строительстве «Олимпийских» тоннелей на совмещенной дороге «Адлер – Альпика-Сервис».

Геотехнический мониторинг в составе АСУ ТП эксплуатации транспортных тоннелей на участке «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» [4], состоит из:

- контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) обделок;
- оценки устойчивости системы «обделка – вмещающий массив» методом ЕЭМИ;
- контроля состояния системы «обделка – вмещающий массив» по данным регистрации сейсмических колебаний с помощью сети сейсмостанций (сейсмомониторинг).

Информация с контрольно-измерительной аппаратуры 9 (девяти) 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, осуществляющего контроль всех автоматизированных систем безопасной эксплуатации тоннелей.

Рис.3. Размещение оборудования системы геодинамической безопасности в тоннеле:



1– трехкомпонентный сейсмодатчик; 2 – блок обработки сейсмомониторинга; 3 – блок обработки ЕИЭМПЗ; 4 – коммутационный шкаф.

Во время эксплуатации Северомуйского тоннеля за техническим состоянием тоннельной обделки, водопроявлениями, водопритоками и гидростатическим давлением воды на обделку ведет Тоннелеобследовательская станция Восточно-Сибирской железной дороги (ТОС ВСЖД). В декабре 2016 года было проведено обследование дренажной и водоотводной систем тоннеля и дренажных коллекторов по теме «Реконструкция верхнего строения пути (ВСП) и дренажно-транспортной штольни Северомуйского тоннеля» силами ООО НИЦ «Бамтоннель».

При обследовании обделки тоннеля зафиксированы следующие дефекты:

- водопроявления различной интенсивности, в том числе течи, капёж, сырость;
- высолы;
- трещины разной направленности, в том числе продольные, косые, поперечные;
- отслоение штукатурки на отдельных участках обделки и у деформационных швов.

Обнаруженные в результате обследования дефекты в виде водопроявлений и высолов указывают на недостаточную эффективность работы дренажной системы тоннеля на этих участках. В обделке тоннеля присутствует большое количество участков с сыростью и капеежом, в штольне на аналогичных участках, как правило, действуют течи из скважин, за исключением некоторых участков, на которых отсутствуют водопроявления.

Дренажная штольня функционирует не в полном объёме, так как, помимо участков, на которых обводнена штольня и не обводнён тоннель, есть

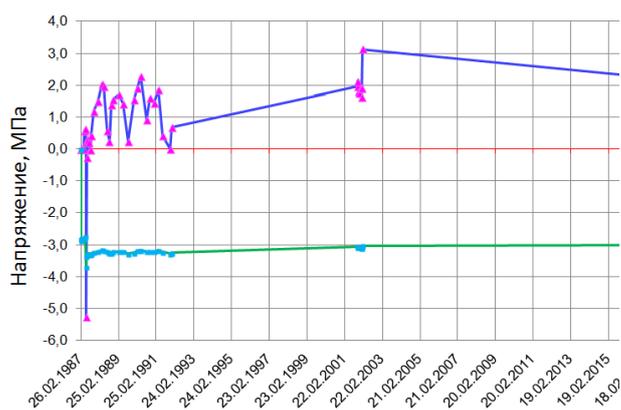
участки, на которых обводнены и тоннель и штольня, а также отмечены несколько участков, на которых имеется сырость и капёж в тоннеле, но при этом нет водопритоков в штольне.

Камеры заобделочного дренажа не решают вопрос осушения тоннеля в полной мере, т.к. вблизи многих КЗД имеются водопроявления на поверхности обделки тоннеля. Причиной слабой эффективности работы КЗД может быть сниженная со временем захватывающая способность дренажных скважин, а также малое их количество. Установлено, что из 48-и камер заобделочного дренажа только 5 можно признать работающими, остальные – практически сухие и не выполняют водозахватные функции.

При обследовании обделки тоннеля зафиксировано множество водопроявлений в виде течей по швам и трещинам обделки, капелей, мокрых пятен, указывающих на то, что несмотря на значительные водопритоки в ТРДШ эффективное осушение тоннельной обделки не обеспечивается.

А что же при этом происходит с напряженным состоянием самих обделок? В 2017 году при ревизии всех замерных станций по трассе тоннеля были выполнены измерения по датчикам, установленных внутри обделок. На рис.4 показаны кривые изменения напряженного состояния обделки во времени.

а)



б)

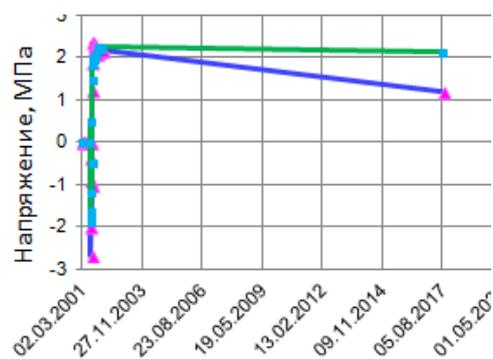


Рис.4. Кривые изменения напряженного состояния обделки тоннеля:  
а – в зоне ангараканской депрессии; б – напряжения в монолитной железобетонной обделке на ПК 15+65 (ВП).

На всех замерных станциях по отдельным датчикам отмечены незначительные изменения напряженного состояния, как в сторону уменьшения напряжений, так и в сторону их увеличения. Но при этом в среднем напряженное состояние обделок остается стабильным.

Является ли такая информация достоверной? Безусловно, да. Струнные датчики (тензометры) установлены во многих искусственных сооружениях, в том числе транспортных тоннелях, гидротехнических сооружениях,

подземных сооружениях сложных геометрических форм большого поперечного сечения. И в течение десятилетий являются основным источником для получения информации о техническом состоянии сооружений. Но только в статической работе сооружений.

А что же с динамической работой обделок тоннеля? Для этого используется аппаратура системы сейсмомониторинга, которая обеспечивает непрерывную регистрацию сейсмических колебаний и вычисление по заданным критериям динамических воздействий от сейсмических процессов в обделке тоннеля и во вмещающем массиве горных пород с последующим суммированием с показаниями датчиков контроля НДС обделок.

Как показала практика эксплуатации системы автоматизированного мониторинга «Олимпийских» тоннелей, с определенными формами динамических нагрузок, которые не являются одномоментными, справляется система контроля НДС обделок. Так, например, на 1 железнодорожном тоннеле было зафиксировано 5 событий, связанных с проливными дождями (18.09.2014, 25.06.2015, 04.06.2016, 29\_30.08.2017, 25.10.2018, рис. 5.)

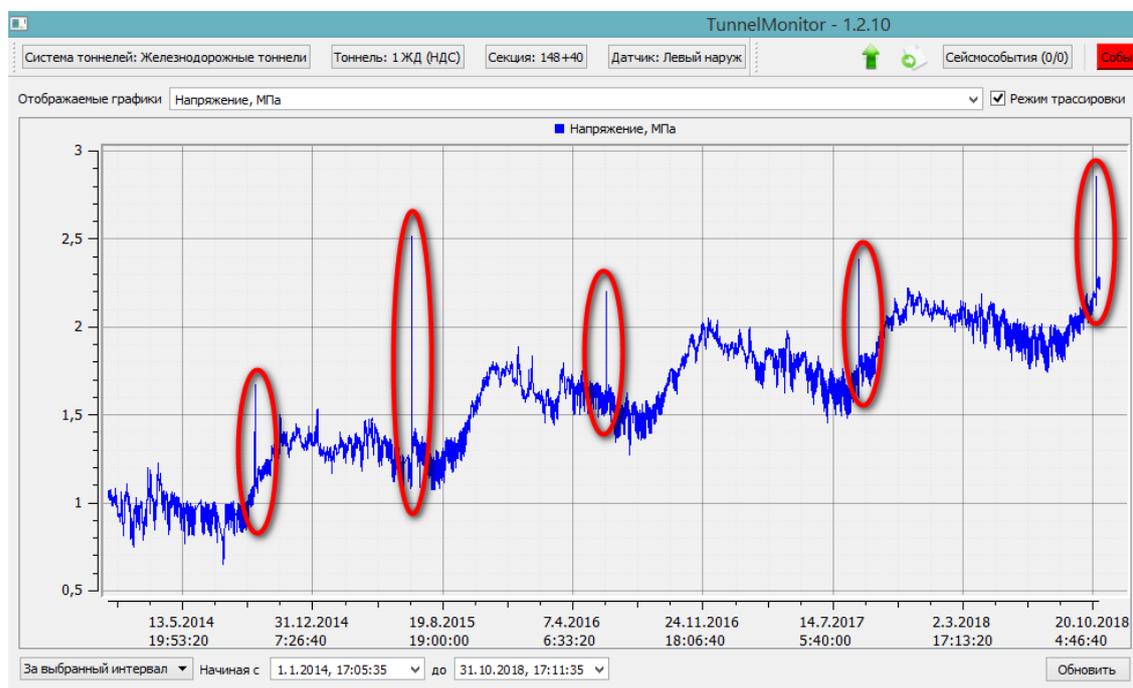


Рис. 4. Изменение нормальных тангенциальных напряжений в обделке из монолитного железобетона на ПК 148+40, МПа.

Красным цветом выделено увеличение напряжений из-за проливных дождей.

В это время происходит мгновенное увеличение напряженно-деформированного состояния обделки за счет роста гидростатического давления. Нормальные тангенциальные напряжения в обделке получают двукратное приращение по отношению к величинам напряжений, действующим до этого. Но сразу после прекращения дождя напряженное состояние обделки возвращается к первоначальному состоянию. Так, например, обильные атмосферные осадки 25.10.2018 привели к росту

гидростатического давления, которое сохранялось в течение 10 часов (с 5:00 до 14:00), максимальное увеличение сжимающих нормальных тангенциальных напряжений составило 0,7 МПа. Быстрому росту гидростатического давления способствует трещиноватость массива, представленного серыми известняками, склонного к карстообразованию.

С учетом сложных гидрогеологических условий, в которых построен Северомуйский тоннель, при наличии автоматизированной системы контроля НДС обделки при помощи датчиков, размещенных внутри конструкций, можно было бы ответить на ряд вопросов, связанных с эффективностью работы дренажной системы и ее влияние на НДС обделки.

При строительстве Северомуйского тоннеля произошло большое количество аварийных ситуаций с выносом в тоннель и штольню водогрунтовой массы объемом до 6500 м<sup>3</sup>, разрушением крепей и обделок, потерей проходческого оборудования и человеческими жертвами. Происходящие в таких случаях разуплотнения окружающего массива впоследствии могут влиять на изменение напряженного состояния обделок в течение многих лет. Поэтому на таких участках при эксплуатации необходим более тщательный контроль технического состояния конструкций.

По результатам заключения экспертной комиссии, созданной Госгортехнадзором России для расследования аварии в IV тектонической зоне 16-22 апреля 1999 года, был сделан вывод, что при эксплуатации СМТ, положение станет еще более опасным, поскольку на устойчивость обводненного массива вмещающих горных пород, представленного нарушенными и перемятыми породами, будет оказывать значительное негативное воздействие вибрация от движения поездов в тоннеле. Такое же негативное воздействие будут оказывать землетрясения слабой и средней интенсивности (до 7 баллов).

Образовавшаяся при аварии депрессионная воронка и провал на поверхности над трассой тоннеля на ПК 15+50 диаметром 5 м и глубиной 12 м способствует дополнительным водопритокам в тоннель и штольню от источников в четвертичных отложениях межгорных речных долин и коры выветривания. С учетом большого количества участков со значительными водопритоками, в период эксплуатации тоннеля очень важной задачей является контроль технического состояния дренажных систем тоннеля и штольни по всей трассе для исключения условий увеличения нагрузок на обделку за счет гидростатического давления.

Мировая практика эксплуатации тоннелей свидетельствует, что в первые 5-10 лет после строительства никаких серьезных повреждений конструкций и оборудования в тоннелях не возникает. Через 15-25 лет начинают проявляться некоторые дефекты, особенно в бетонных обделках от резких колебаний температуры воздуха, агрессивного воздействия воды, обледенений, просадок породы в основании тоннеля и т.п. Еще через 50-70 лет появляются повреждения, связанные с просчетами проектирования и строительства, старения материала конструкций, понижения деформационно-прочностных свойств во вмещающих тоннели породах [5]. Но серьезные нарушения в

тоннелях, особенно построенных в сложных горно-геологических условиях с высокой сейсмичностью как СМТ, могут случиться практически в любое время из-за стихийных бедствий – землетрясений, наводнений и других, а также несоблюдения условий безопасной эксплуатации, дефектах в обделке, состоянии окружающего массива, порталах, пути, несвоевременном проведении осмотра и ремонта.

Любая авария в тоннелях представляет собой неконтролируемую ситуацию и может привести к тяжелым последствиям. В таких условиях геотехнический мониторинг на всех стадиях строительства и эксплуатации тоннеля представляется совершенно необходимым элементом предупреждения аварий, прогноза технического состояния конструкций и безопасной эксплуатации.

#### **Литература**

1. Сейсмоструктура и сейсмичность района строительства БАМ. Сб. Статей /АН СССР, Междуведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР, Инс-т земной коры СО РАН СССР; Отв. ред. М.М. Одинцов. – М.: Наука, 1980. 203 с.
2. Сильвестров С., Безродный К., Касапов Р. Проявление горного давления при строительстве тоннелей БАМа // Метрострой. №6, 1983. С. 17-18.
3. Сильвестров С., Безродный К., Трунев В. Температурные воздействия на состояние обделки // Метрострой. №5, 1984. С. 10-11.
4. Безродный К.П., Кутьин И.В., Лебедев М.О. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) в железнодорожных тоннелях Олимпийской трассы // Наука и транспорт. 2009. С. 24-26.
5. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. /С.Н. Власов, Л.В. Маковский, В.Е. Меркин при участии А.Э. Куплиса, В.Ф. Сарabeeва, В.В. Торгалова. – 2-е изд., доп. – М.: ТИМР, 2000. -198 с.

# **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОХРАННОСТИ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА ПРИ ПУСКЕ УЧАСТКОВ ЛИНИЙ СТРОЯЩЕГОСЯ МЕТРОПОЛИТЕНА ПО ВРЕМЕННОЙ СХЕМЕ НА ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛАХ ДО ЗАВЕРШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ В ПОЛНОМ ОБЪЕМЕ**

*Никоноров Р.Н., ООО «НИЦ ТА»*

В условиях сжатых сроков строительства при колоссальных объемах работ зачастую приходится сталкиваться с необходимостью ввода построенных сооружений в эксплуатацию еще до завершения основных работ в полном объеме, что в свою очередь тянет за собой целый ряд задач по обеспечению безопасной эксплуатации этих сооружений.

За последние годы к сооружениям Московского метрополитена прибавились десятки станций и километры перегонных тоннелей, не считая многочисленных пристанционных и притоннельных сооружений. Темпы строительства достигли небывалых размеров. Ввод в эксплуатацию запланирован на годы вперед. Однако, вне зависимости от профессионализма и высокой квалификации специалистов, занятых на всех этапах строительства, еще никому не удавалось избежать различных форс-мажорных ситуаций.

В основном, возникающие ситуации не приводят к сдвигению сроков ввода объектов в эксплуатацию. Но иногда происходит так, что потеря драгоценного времени в процессе устранения результатов возникших форс-мажорных обстоятельств чревата срывом даты пуска новых сооружений метрополитена. В таких случаях имеет смысл проведение дополнительных изысканий для оценки возможности ввода в эксплуатацию в установленный срок при продолжении ведения строительно-монтажных работ на объекте.

За 2018 год к опыту Московского метростроения прибавились несколько весомых объектов, эксплуатируемых в период проведения работ по завершению строительства. В их число входят:

- Пуск транзитного движения поездов через достраиваемую станцию «Беломорская» Замоскворецкой линии Московского метрополитена;
- Ввод в эксплуатацию правого перегонного тоннеля соединительной ветки в электродепо «Солнцево» Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена при движении на деревянных шпалах в период производства работ по обратной засыпке котлована ВОУ на ПК 05+27,017;
- Открытие движения поездов по участкам правого тоннеля соединительной ветки, правого и левого перегонных тоннелей на участке от ст. «Боровское шоссе» до ст. «Солнцево» Калининско-Солнцевской линии

Московского метрополитена при завершении работ по возведению камеры съездов на ПК0258+0,00.

Во всех случаях первоочередной задачей являлось обеспечение безопасности движения пассажиров на участках ведения работ. Выполнение этой задачи возможно только при условиях всестороннего анализа поведения верхнего строения пути при производстве работ на объектах, организации контроля за положением и состоянием верхнего строения пути, а также при условии составления алгоритма взаимодействия эксплуатирующей организации, производителей работ и организации, ведущей научное сопровождение строительства. Алгоритм взаимодействия должен включать в себя способы оценки состояния верхнего строения пути и описание действий при выявлении неблагоприятной ситуации на участке движения при проведении работ.

За прошедший год всем заинтересованным сторонам была предоставлена возможность для разработки и апробации последовательности действий при выявлении необходимости пуска участка строящейся линии метрополитена по временной схеме выработана и апробирована за прошедший год.

Последовательность действий пуска по временной схеме включает:

1. Анализ сложившейся строительной ситуации, инженерно-геологических условий и возможных изменений условий проведения работ.
2. Расчетное определение возможных деформаций верхнего строения пути на всех этапах завершения работ с учетом выявленных условий.
3. Составление заключения о возможности эксплуатации сооружений в условиях проведения работ до завершения строительства с учетом сопоставительного анализа результатов расчетов и результатов мониторинга сооружений метрополитена в процессе проведения строительного-монтажных работ.
4. Разработка программы мониторинга за верхним строением пути эксплуатируемых участков, определение критериев оценки безопасности движения поездов.
5. Составление совместного регламента взаимодействия эксплуатирующей организации и производителя работ в условиях проведения строительного-монтажных работ на объектах. Последовательность действий при выявлении достижения критериев оценки надежности ВСП предельных значений.
6. Организация совместной работы на участках, эксплуатируемых по временной схеме, до завершения строительства с целью обеспечения безопасной эксплуатации сооружений.

Учитывая положительный опыт проведения работ в соответствии с представленной последовательностью действий для организации безопасной эксплуатации сооружений при условии движения поездов по временной схеме можно сделать вывод о жизнеспособности данного подхода при возникновении необходимости ввода сооружений метрополитена в эксплуатацию до завершения основных работ на объекте.