

Журнал  
Тоннельной ассоциации России

## Председатель редакционной коллегии

С. Г. Елгаев, доктор техн. наук

## Зам. председателя редакционной коллегии

В. М. Абрамсон, канд. эконом. наук

И. Я. Дорман, доктор техн. наук

## Ответственный секретарь

Г. И. Будницкий

## Редакционная коллегия

В. П. Абрамчук

В. В. Адушкин, академик РАН

В. Н. Александров

М. Ю. Беленький

А. Ю. Бочкарев, канд. эконом. наук

Н. Н. Бычков, доктор техн. наук

С. А. Жуков

А. М. Земельман

Б. А. Картозия, доктор техн. наук

Е. Н. Курбацкий, доктор техн. наук

С. В. Мазеин, доктор техн. наук

И. В. Маковский, канд. техн. наук

Ю. Н. Малышев, академик РАН

Н. Н. Мельников, академик РАН

В. Е. Меркин, доктор техн. наук

М. А. Мутушев, доктор техн. наук

А. А. Пискунов, доктор техн. наук

М. М. Рахимов, канд. техн. наук

М. Т. Укшебаев, доктор техн. наук

Б. И. Федунец, доктор техн. наук

Т. В. Шепитько, доктор техн. наук

Е. В. Цецкудов, канд. техн. наук

## Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172

факс: (495) 607-3276

www.tar-rus.ru

e-mail: rus-tunnel@mail.ru

## Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71

127521, Москва,

ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,

оф. 4206

e-mail: metrotunnels@gmail.com

## Генеральный директор

О. С. Власов

## Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

## Фотограф

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов  
журнала только с письменного  
разрешения издательства

© ООО «Метро и тоннели», 2015

№ 1 2015

25 лет ТА России

Международное сотрудничество 6

## Проектные решения

Продление Таганско-Краснопресненской линии

Московского метрополитена

от ст. «Выхино» до ст. «Жулебино» 8

К. В. Овчинников, Л. Л. Борзенков, М. Ю. Рудницкий

## Технологии строительства

Строительство эскалаторных тоннелей

Санкт-Петербургского метрополитена 14

К. П. Безродный, М. О. Лебедев, Г. Д. Егоров

## Экспертный контроль

Научно-техническое сопровождение проектирования

и строительства подземных сооружений, как фактор

обеспечения единой научно-технической политики 18

Н. Н. Бычков, И. Я. Дорман, С. Г. Елгаев,

С. В. Мазеин, В. Е. Меркин, М. А. Мутушев

## Геомеханика

К вопросу о физических основах категорирования

горных пород по трудности их разработки 20

В. П. Абрамчук, А. Ю. Педчик,

В. В. Костенко, Ф. Г. Меденков

Оценка величины горного давления по результатам

измерения деформаций временной крепи 22

В. В. Чеботаев

## Вопросы безопасности

Об основных принципах обеспечения

сейсмостойкости транспортных тоннелей 26

И. Я. Дорман

## Обобщая опыт

Интересная статистика по транспортным

тоннелям и метрополитенам 30

В. А. Гарбер



### *Дорогие друзья!*

От имени мэрии и правительства Москвы, руководства строительного комплекса Москвы и от себя лично, сердечно поздравляем вас с 25-летием Тоннельной ассоциации России.

Тоннельная ассоциация работает лишь четверть века, но уже вошла в историю отечественного метро- и тоннелестроения как организация, объединившая в тяжелые годы кризиса специалистов в области исследований, изысканий и проектирования, строительства и эксплуатации тоннелей и инженерных коммуникаций транспортного, гидротехнического, коммунального назначения, занятых созданием тоннелестроительной техники и технологий.

Именно ваша ассоциация не только не допустила упадка тоннельного дела в стране, но и обеспечила его поистине беспрецедентное развитие, что особенно ярко проявляется в

столице нашей Родины Москве, где с вашим непосредственным, причем решающим, участием осуществляется грандиозная программа развития транспортной сети города, строительства новых линий метрополитена и транспортно-пересадочных узлов.

Сегодня Москва входит в число мировых лидеров по темпам и объемам строительства метро, и мы не планируем снижать эту планку.

Спасибо вам за вашу напряженную и плодотворную работу, за ваш большой вклад в развитие нашего любимого города, создание комфортных условий жизни для миллионов москвичей.

Желаем вам, дорогие друзья, крепкого здоровья, благополучия, новых достижений в созидательном труде на благо России и Москвы.

*Мэр Москвы*

*Заместитель мэра Москвы в правительстве Москвы*

**С. С. Собянин**

**М. Ш. Хуснуллин**



### *Дорогие коллеги!*

От имени Департамента строительства города Москвы, всех московских строителей и от себя лично сердечно поздравляем всех метростроителей и тоннельщиков с замечательным юбилеем – 25-летием Тоннельной ассоциации России.

За тот период, что существует Тоннельная ассоциация, многие общественные организации существенно сократили и даже прекратили свою деятельность. А у вас все наоборот: год от года Тоннельная ассоциация крепчает, развивается, играет все более и более важную роль в постановке тоннельного дела в стране и в первую очередь – в Москве. В столице реализуется грандиозная программа строительства метрополитена, и Тоннельная ассоциация России вносит весьма весомый вклад в ее выполнение. Не снижая объемов своей деятельности, прежде всего, как организация научно-технического профиля, Тоннельная ассоциация активно включилась в решение вопросов разработки и экс-

пертиз проектов, мониторинга и координации строительно-монтажных работ.

Знаменательным является то обстоятельство, что почти все члены Научно-технического совета по строительству объектов метро и транспортной инфраструктуры Департамента строительства города Москвы являются членами (причем активными) Тоннельной ассоциации России.

Сегодня Тоннельная ассоциация, объединяющая ученых и инженеров, работающих в транспортном, коммунальном и гидротехническом тоннелестроении, стала важным участником и организатором решения насущных задач подземного строительства.

В день 25-летия Тоннельной ассоциации России выражаем уверенность в дальнейшем плодотворном сотрудничестве при реализации градостроительных программ и совершенствовании облика столицы.

*Руководитель Департамента  
строительства города Москвы*

*Заместитель руководителя*

*Департамента строительства города Москвы*

**А. Ю. Бочкарев**

**В. А. Швецов**



### *Уважаемые коллеги, дорогие друзья!*

Поздравляем вас со знаменательным юбилейным событием – 25-летием Тоннельной ассоциации России.

Тоннельная ассоциация России (ТАР) является общероссийской общественной организацией и объединяет на основе добровольного членства организации и специалистов по исследованию, проектированию, строительству и эксплуатации метрополитенов, тоннелей, прочих подземных сооружений, а также занятых созданием и изготовлением тоннелестроительной техники и технологий.

Главной целью ассоциации является содействие разными формами и методами ускорению научно-технического прогресса, повышению эффективности и качества строительства и эксплуатации тоннельных сооружений.

В своей деятельности ассоциация решает задачи выработки технической политики и научно-технических программ в области исследований, проектирования, строительства и эксплуатации метрополитенов, тоннелей, использования подземного пространства городов, внедрения в практику новейших достижений научно-технического прогресса в области метро- и тоннелестроения, осуществляет информационную деятельность по пропаганде достижений науки, техники, передового опыта в строительстве и эксплуатации тоннелей, обеспечивает установление контактов между организациями и специалистами в области метро- и тоннелестроения, развитие связей с научной и инженерно-технической общественностью зарубежных стран.

Решение о создании Тоннельной ассоциации России было принято 28 февраля 1990 г. и у ее истоков стояли такие выдающиеся деятели отечественного транспортного строительства, как В. А. Брежнев и О. Н. Макаров, возглавлявшие правление ассоциации и, конечно же, С. Н. Власов, более 20 лет руководивший Исполнительной дирекцией, являвшийся душой и мозгом ассоциации, организатором всей ее деятельности.

За последние годы роль и место Тоннельной ассоциации в системе отечественного метро- и тоннелестроения значительно возросли.

Одним из наиболее весомых результатов является участие членов ассоциации в строительстве Олимпийских объектов в г. Сочи, в реализации стратегической программы правительства Москвы по развитию Московского метрополитена, строительстве Санкт-Петербургского метрополитена, тоннелей в регионах Российской Федерации, а также строек в Белоруссии, Азербайджане, Казахстане, других объектов.

Велик научно-технический потенциал Тоннельной ассоциации России. Только в аппарате Исполнительной дирекции трудятся 4 доктора технических наук, а всего их в составе ассоциации более 30. Ассоциация гордится тем, что в ее составе находятся 3 академика Российской академии наук и целый ряд академиков Академии горных наук и Академии транспорта.

Ряды ассоциации растут, создаются новые региональные отделения. Если в 2012 г. Тоннельная ассоциация России была представлена в 12 регионах России, то сегодня уже в 23 регионах. И этот процесс продолжается. За последние два года отделения ассоциации созданы еще в 15 организациях. И одновременно мы очищаемся от балласта, исключаем из ассоциации организации, уклоняющиеся от участия в нашей общей работе, не выполняющие уставные требования.

В настоящее время мы в числе наших первоочередных задач видим активизацию работы по комплексному освоению подземного пространства городов и по воссозданию отечественной отрасли горно-строительного машиностроения. Работа по этим направлениям уже начата и должна получить, мы в этом уверены, поддержку всех членов Тоннельной ассоциации России.

Дорогие друзья! Еще раз поздравляем вас с нашим общим замечательным праздником и желаем вам всем, вашим родным и близким крепкого здоровья, большого счастья в жизни, дальнейшей плодотворной работы на благо Отечества и тоннельного дела в России.



*О. Н. Макаров*



*В. А. Брежнев*



*С. Н. Власов*

*Председатель правления Тоннельной ассоциации России*

*Первый заместитель председателя правления*

*Тоннельной ассоциации России – руководитель Исполнительной дирекции*

**Г. Я. Штерн**

**С. Г. Елгаев**



### *Уважаемые коллеги!*

От имени Международной тоннельной ассоциации (ИТА) и от себя лично поздравляю Тоннельную ассоциацию России с 25-летием.

Юбилей – это время, чтобы отметить достижения и важные вехи в истории ассоциации.

История российского тоннелестроения насчитывает много достижений в подземном строительстве. За прошедшие 25 лет Россия пережила феноменальный расцвет городов и их транспортной инфраструктуры, и освоение подземного пространства сыграло значительную роль в этом развитии.

Международная тоннельная ассоциация считает, что юбилей Тоннельной ассоциации России служит ярким до-

казательством длительного сотрудничества и активного участия России в деятельности мирового профессионального сообщества.

Я буду рад присутствовать на торжественных мероприятиях в честь 25-летия Тоннельной ассоциации России и с нетерпением жду встречи со старыми друзьями и коллегами, а также рассчитываю на новые знакомства с уважаемыми специалистами.

Международная тоннельная ассоциация расценивает Тоннельную ассоциацию России как важного и влиятельного партнера, и мы надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

*С наилучшими пожеланиями,*

*Президент Международной  
тоннельной ассоциации (ИТА)*

**Soren Degn Eskesen**

---

### *Уважаемые коллеги, друзья и соратники!*

Руководство и коллектив Федерального государственного унитарного предприятия «Управление строительства № 30» сердечно поздравляет действующих сотрудников ТАР и всех сопричастных к ее организации и существованию с замечательным юбилеем – 25-летием со Дня образования!

Нет необходимости в каких-либо конкретных доказательствах всей важности и большой практической значимости той деятельности, которую осуществляет Тоннельная ассоциация, поскольку все мы – подземные строители, в той или иной форме причастны к ее деятельности и в еще большей мере пользуемся результатами этой деятельности.

В этой связи достаточно лишь отметить, что период становления Тоннельной ассоциации России пришелся на сложный и неоднозначный период смены политического устройства страны, перехода отечественной экономики на рыночные механизмы хозяйствования, ее полномасштабной интеграции в мировую экономику.

Объем нерешенных задач до сих пор еще не исчерпан, однако можно с уверенностью утверждать, что уже достигнутые

на пути этой деятельности результаты и которые предстоит еще достичь, свидетельствуют о высоком профессионализме нашего сообщества и способности к решению поставленных временем задач, какими бы сложными они не были.

А залогом будущих успехов деятельности Тоннельной ассоциации и всей отрасли подземного строительства в целом, как бы это банально ни звучало, являются сплоченность наших рядов, солидарность и взаимовыручка, помноженные на высокую ответственность, честь и профессионализм. Что и продемонстрировал прошедший период времени!

Со своей стороны, хотя наша организация и так является активным членом Тоннельной ассоциации России, мы нацелены на существенное усиление своего участия в ее деятельности и постараемся сделать все от нас зависящее на пути рационального и эффективного освоения подземного пространства земных недр нашей страны.

Еще раз поздравляем всех с замечательным юбилеем и желаем свершения всего задуманного вами, а в личном плане – счастья, здоровья и удачи!

*С уважением,*

*Начальник ФГУП «Управление строительства № 30»  
Первый зам. начальника  
Главный инженер*

**В. П. Абрамчук  
А. Ю. Педчик  
В. В. Костенко**



*Дорогие мои соратники!*

От имени всех архитекторов Москвы, ближнего и дальнего зарубежья сердечно и с огромной радостью поздравляю Тоннельную ассоциацию России с 25-летием со Дня рождения.

Ассоциация рождалась в трудный для России период – начало 90-х, но не смотря на это, она выросла, окрепла и сейчас является ведущим профессиональным объединением в области тоннелестроения и подземного строительства.

В своем составе ассоциация объединила лучших специалистов проектирования и строительства подземных сооружений, в том числе и архитекторов, проектные институты, учебные заведения, научно-исследовательские центры.

Отрадно отметить, что Тоннельная ассоциация внесла прямой вклад в развитие архитектурного шедевра всех времен и народов – Московский метрополитен. К счастью, этим объектом я занимался всю сознательную жизнь совместно с вами, и есть надежда, что нам и впредь вместе предстоит сделать много великого и прекрасного.

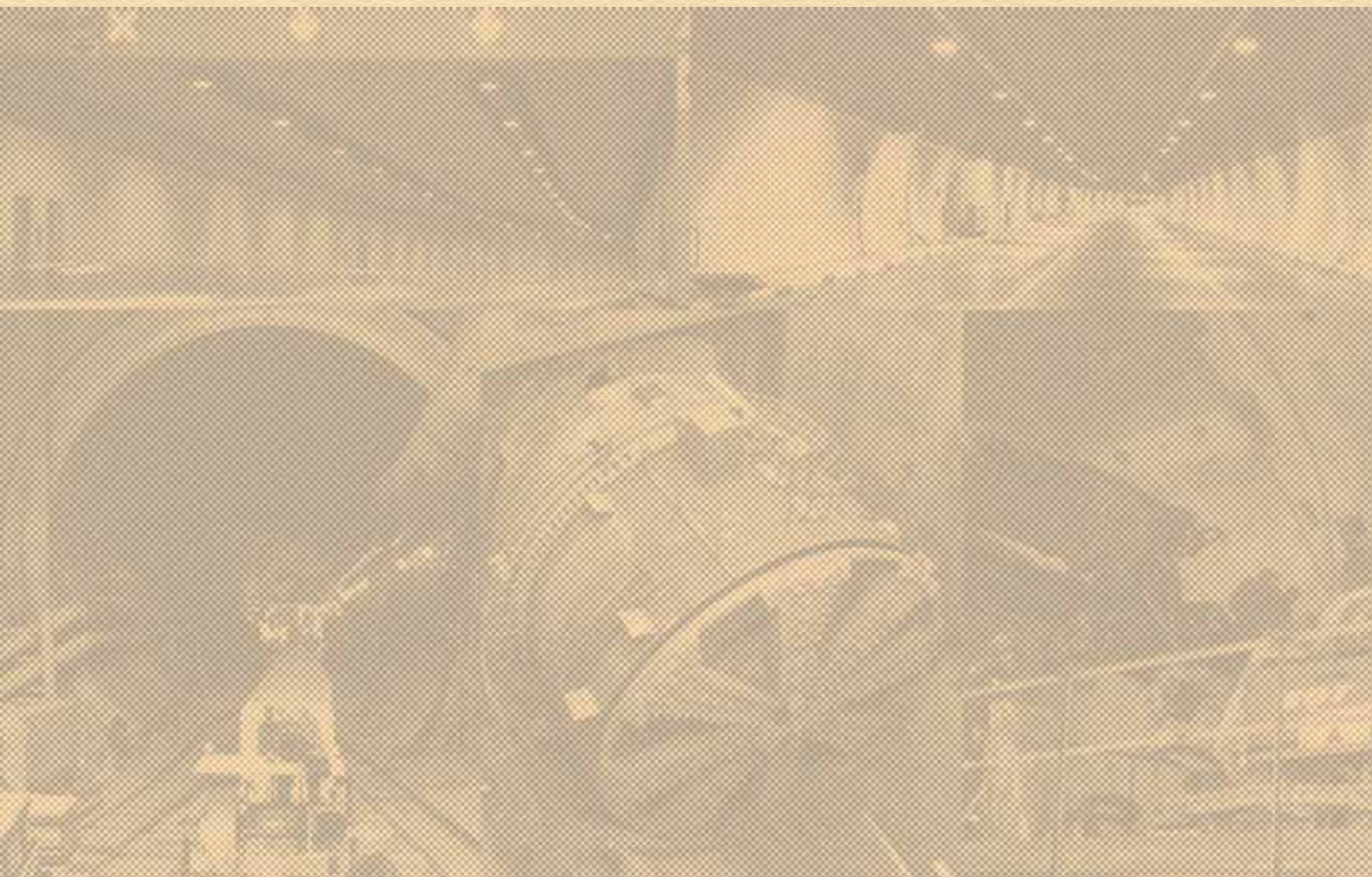
Сегодня, как у архитекторов, так и у тоннельщиков стоит непростая задача консолидации сил профессионалов, только объединившись, взявшись крепко за руки, мы победим. Объединив усилия, мы сможем вывести российскую отрасль подземного строительства на качественно новый уровень, решить актуальные вопросы освоения подземного пространства, поставить и решить проблемы транспорта, экологии, создать комфортную, осмысленную среду для нас самих и для будущих поколений.

Желаю Тоннельной ассоциации процветания, успешной реализации новых проектов в области подземного строительства и усиление ее роли в формировании градостроительной политики не только Москвы, но и всех городов России.

Еще раз поздравляю, не сомневаюсь, что сотрудничество и наше взаимодействие будет продолжаться и расширяться.

*Президент Союза московских архитекторов,  
Президент Международной ассоциации  
союзов архитекторов*

**Н. И. Шумаков**



## МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО



Одним из основных направлений деятельности Тоннельной ассоциации России является международное сотрудничество. Наряду с сохранившимися и постоянно развивающимися связями с тоннельщиками из стран ближнего зарубежья, такими как Беларусь, Казахстан, Азербайджан, практически с момента своего создания Тоннельная ассоциация России начала активную работу с иностранными компаниями, занимающими лидирующие позиции в мировом метро- и тоннелестроении. Особая роль в этом процессе отводится сотрудничеству с Международной тоннельной ассоциацией (ИТА).

ИТА – крупнейшая в мире Международная общественная организация в сфере освоения подземного пространства.

Безусловно, совместная работа с такой высокоавторитетной международной общественной организацией представляет большой интерес для российских специалистов, и поэтому с момента своего создания Тоннельная ассоциация России начала активную работу по организации такого сотрудничества. На заседании XVIII Генеральной ассамблеи ИТА, проводимой в 1992 г. в г. Акапулько (Мексика), Россия была принята в члены ИТА и представлена Тоннельной ассоциацией России.

В настоящее время Тоннельная ассоциация России, являясь членом ИТА, выполняет в этой авторитетной организации функции национального представителя интересов российских организаций и специалистов, занимающихся вопросами проектирования,

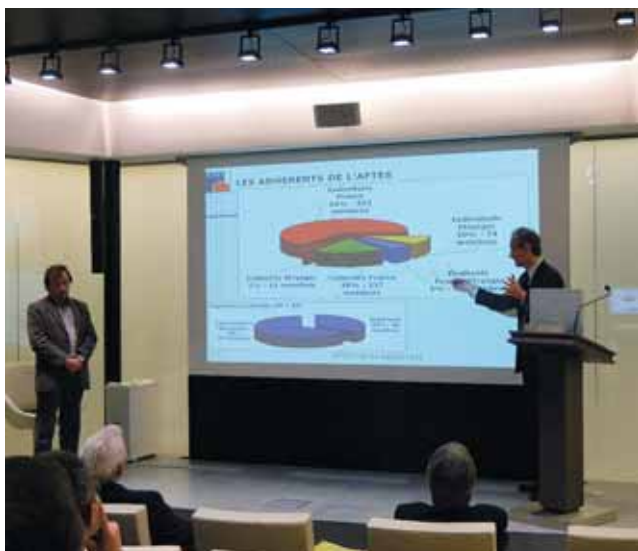
строительства и эксплуатации подземных сооружений.

Самыми крупными публичными мероприятиями ИТА являются ежегодные Всемирные тоннельные конгрессы и Генеральные ассамблеи.

В Генеральной ассамблее участвуют представители национальных членов и Исполнительный комитет. На ней решаются следующие вопросы: планируется деятельность Ассоциации, заслушиваются отчеты о работе и финансах, избираются новые члены, определяется место проведения ежегодных мероприятий и др.

Руководители Тоннельной ассоциации России принимали активное участие в работе Генеральной ассамблеи. В разное время от России в Исполнительный комитет входили Н. С. Бульчев и В. А. Умнов.





Международный тоннельный конгресс включает в себя выставку, доклады и лекции по тематическим сессиям, встречи рабочих групп и комитетов, тренинги для молодых специалистов.

Ежегодно российские специалисты принимают участие в международных конгрессах, конференциях и других мероприятиях, организуемых ИТА.

Российские специалисты работают в рабочих группах. Благодаря этому за последние годы нами установлены деловые и дружеские связи с зарубежными коллегами.

Постоянно растет авторитет российских ученых, проектировщиков, строителей за рубежом. Первый доклад от России был представлен на Конгрессе в Штутгарте (Германия) в 1995 г. С тех пор ежегодно на всех конгрессах российские специалисты представляют доклады об отечественном опыте проектирования и строительства объектов подземного строительства, что, безусловно, поднимает авторитет не только выступающих, но и отечественной школы тоннелестроения.

Важное значение для международного сотрудничества имеет принятое в 2004 г. решение правительства Москвы о ежегодном проведении тематических международных выставок «Подземный город». Тоннельная ассоциация входит в число организаторов этих выставок и является постоянным их участником.

В рамках выставки по различным направлениям проводятся Международные научно-технические конференции. В ходе этих мероприятий специалисты не только получают современную информацию о методах проектирования, строительства и эксплуатации тоннелей и других подземных сооружений, но и имеют возможность наладить деловые контакты с зарубежными специалистами.

Среди других форм международного сотрудничества следует отметить проведение совместных мероприятий на территории России.

Так, в 2009 г. в Санкт-Петербурге была проведена 2-я Международная конференция «Обеспечение безопасности при использовании современных технологий строительства

подземных сооружений в сложных условиях городской застройки», в которой приняли участие 162 специалиста из различных городов России, а также из Германии, Нидерландов, Франции, Швейцарии. На конференции было представлено 35 докладов.

В 2011 г. в г. Сочи с большим успехом прошла Международная научно-техническая конференция «Российский опыт и развитие инновационных технологий при строительстве тоннельных объектов в г. Сочи», наглядно продемонстрировавшая высокий современный уровень отечественного тоннелестроения при сооружении объектов транспортной инфраструктуры г. Сочи. В конференции приняли участие более 100 отечественных и зарубежных специалистов.

В 2012 г. большим событием для тоннельщиков стало проведение в Санкт-Петербурге Международного форума «Комплексное освоение подземного пространства мегаполисов». По оценкам оргкомитета форума в нем приняли участие более 400 специалистов из ряда регионов России и 10 зарубежных стран, в том числе из Германии, Франции, Швейцарии, США и др.

На форуме было озвучено более 50 докладов по различным аспектам, связанным с организацией комплексного освоения подземного пространства городов.

В сентябре 2012 г. по просьбе Международной тоннельной ассоциации Тоннельная ассоциация России организовала проведение в Москве заседания Исполкома ИТА. В заседании приняли участие 15 человек Исполкома ИТА во главе с президентом и вице-президентом.

Тоннельная ассоциация в рамках международного сотрудничества организовывала деловые поездки в зарубежные страны и участие в проводимых ИТА и национальными тоннельными ассоциациями мероприятиях.



Участие в этих мероприятиях позволило российским специалистам ознакомиться с передовым опытом метро- и тоннелестроения в ведущих европейских странах: Франции, Германии, Италии, Испании, Швейцарии и др. Всего в этих деловых поездках приняло участие более 200 российских специалистов.

В ходе этих поездок российские специалисты знакомились с новейшими технологиями, применяемыми ведущими зарубежными фирмами, посещая проектные институты и строительные объекты, участвуя в семинарах с представителями национальных тоннельных ассоциаций, а также в многочисленных встречах со специалистами и фирмами, работающими в области освоения подземного пространства.

Опыт, приобретаемый российскими специалистами в ходе этих поездок, используется при разработке и реализации программ освоения подземного пространства на территории России.

Анализируя пройденный путь 25-летнего развития можно сделать вывод, что Тоннельная ассоциация России нашла свое достойное место в мировом тоннельном сообществе и активно расширяет международные связи для динамичного развития отечественного тоннелестроения на современном уровне.



# ПРОДЛЕНИЕ ТАГАНСКО-КРАСНОПРЕСНЕНСКОЙ ЛИНИИ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА ОТ СТ. «ВЫХИНО» ДО СТ. «ЖУЛЕБИНО»

**К. В. Овчинников**, главный инженер проекта, ОАО «Метрогипротранс»  
**Л. Л. Борзенков**, главный архитектор проекта, ОАО «Метрогипротранс»  
**М. Ю. Рудницкий**, начальник технического отдела



## Технические решения

### Размещение станций в городе

Продление Таганско-Краснопресненской линии Московского метрополитена от станции «Выхино» до станции «Жулебино» проектировалось в Восточном административном округе Москвы в технической зоне метрополитена, в сложившейся градостроительной среде.

Протяженность участка 5200 м. Трасса проходит в наземном исполнении на участке от перекрестного съезда за станцией «Выхино», со спрямлением станционных путей вдоль Рязанского направления МЖД, с реконструкцией существующих устройств метрополитена, далее в подземном исполнении в тоннелях мелкого заложения вдоль путей Рязанского направления МЖД, пересекая МКАД и полосу территории природного комплекса, занятую подземными коммуникациями и воздушными линиями электропередач, и подходит к Лермонтовскому проспекту, вдоль которого перед пересечением с Хвалынским бульваром размещается станция «Лермонтовский проспект» мелко-го заложения.

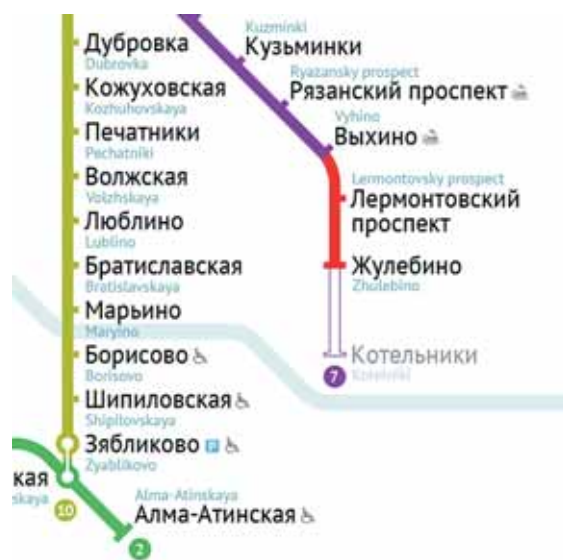
Станция «Лермонтовский проспект» расположена на Лермонтовском проспекте, с северной его стороны от дома № 75 до пересечения с Хвалынским бульваром на терри-

тории, занятой строениями, подлежащими сносу в связи со строительством метрополитена.

Станция метро проектировалась в едином комплексе с перспективным транспортно-пересадочным узлом, расположенным севернее станции. В конструкциях подземных переходов № 1 и 3 оставлены проемы для последующего соединения с ТПУ и продления от вестибюля № 1 пешеходного перехода к будущему перрону ТПУ, который будет расположен рядом с оградой ТЭЦ.

За станцией «Лермонтовский проспект» трасса пересекает проспект и поворачивает на участке между 1-м и 3-м Люберецким проездом, далее выходит на улицу Генерала Кузнецова и идет вдоль нее. Перед пересечением с улицей Академика Миля размещается станция «Жулебино», после которой сооружаемый участок линии заканчивается тупиками, не доходя до Привольной улицы.

Станция «Жулебино» размещена вдоль улицы Генерала Кузнецова, у пересечения последней с улицей Авиаконструктора Миля, в технической зоне метрополитена. На стадии проектной документации



Участок продления Таганско-Краснопресненской линии на схеме метро

участка ТКЛ от станции «Выхино» до станции «Жулебино» была проверена техническая возможность продления этой линии в район Котельники, где намечается размещение транспортно-пересадочного узла, с устройством станции метрополитена в составе ТПУ.

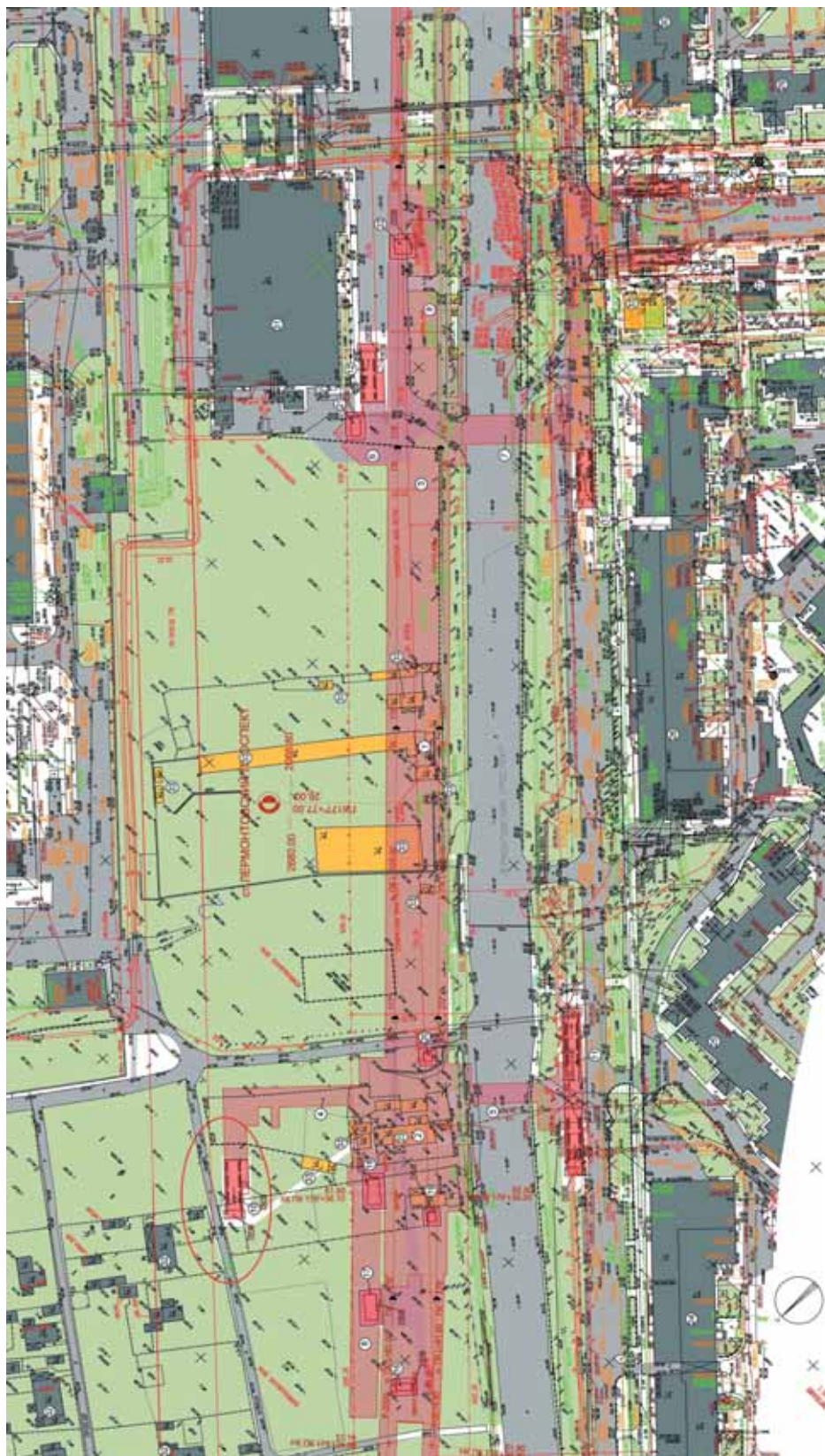




Планировочное решение станции метро «Жулебино»

**Производственная мощность (пропускная способность)**

Станции «Лермонтовский проспект» и «Жулебино» обеспечивают пропуск расчетных пассажиропотоков от платформенного участка к вестибюлям станции и пешеходным переходам.



Планировочное решение станции метро «Лермонтовский проспект»

Расчетный пассажиропоток на период пуска на основании градостроительного раздела ГУП НИИПИ Генерального плана города Москвы с учетом коэффициента неравномерности составлял по каждой станции:

- по входу на станцию 12,6 тыс. чел. в час;
- по выходу со станции 5,6 тыс. чел. в час.

**Социальная значимость объекта**

Сооружение станции «Лермонтовский проспект» позволило:

- улучшить транспортное обслуживание населения периферийного района Москвы Жулебино;
- разгрузить конечную станцию метрополитена «Выхино» за счет сокращения подвоза к ней населения из района Жулебино;

## Технико-экономические показатели

Показатель	Станция «Лермонтовский проспект»	Станция «Жулебино»
<b>Платформенная часть</b>		
Площадь платформы, м <sup>2</sup>	1956,0	1956,0
Длина платформы, м	163	163
Ширина платформы, м	12	12
Высота станции от уровня платформы до верхней точки свода, м	6,2	4,8
<b>Вестибюль № 1</b>		
Наземный уровень – площадь помещения локомотивных бригад, м <sup>2</sup>		361,44
Площадь первого подземного уровня, м <sup>2</sup>	4302	3262,0
Площадь второго подземного уровня, м <sup>2</sup>	692,0	851,4
Площадь третьего подземного уровня, м <sup>2</sup>	901,0	851,4
<b>Вестибюль № 2</b>		
Площадь первого подземного уровня, м <sup>2</sup>	4232,0	1408,6
Площадь второго подземного уровня, м <sup>2</sup>	762,2	1090,6
Площадь третьего подземного уровня, м <sup>2</sup>	855,2	1090,6

• уменьшить нагрузки на городской наземный транспорт;

• осуществить строительство защитных сооружений для сохранения жизни и здоровья населения в случае эвакуации при возникновении чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и другого характера;

• обеспечить возможность использования метрополитена маломобильными группами населения.

**Экологичность**

Технология проектируемого объекта на период эксплуатации не обуславливала наличие источников эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Таким образом, в период эксплуатации рассматриваемого участка метрополитена в районе размещения венткиосков и вестибюлей станций не будет происходить изменения качества атмосферного воздуха.

Выполненные расчеты показали, что в период строительства влияние рассматриваемого

объекта на состояние загрязнения атмосферного воздуха окажется в пределах установленных санитарно-гигиенических и экологических нормативов с учетом рекомендованных мероприятий.

Таким образом, реализация проектных решений не привела к ухудшению состояния атмосферного воздуха в рассматриваемом районе.

Для выполнения требований СН 2.2.4/2.1.8.566-96 и СанПиН 2.1.2.2645-10 в зданиях, расположенных вблизи линии метрополитена Таганско-Краснопресненской линии метрополитена от станции «Выхино» до станции «Жулебино», в проекте предусматривались виброзащитные мероприятия.

**Доступность для маломобильных групп населения**

Проектом предусмотрен высокий уровень комфорта для пассажиров, в том числе для маломобильных групп населения в соответствии с требованиями СНиП 35-01-2001 и ГОСТов.

На станции на обоих вестибюлях размещены лифты, размеры которых соответствуют требованиям ГОСТа 51631-2008.

В переходах, при перепаде уровней, предусмотрены пандусы с нескользящим покрытием. В вестибюлях и на станции была запроектирована система визуальной и тактильной информации для слабовидящих пассажиров (световые и контрастные полосы, фактурные покрытия).

Планировочные решения служебных помещений и кассовых залов вестибюлей соответствуют последним требованиям технологии метрополитена.

**Архитектурные решения****Платформенная часть станции «Лермонтовский проспект»**

Платформенный участок – односводчатый, с высотой монолитного свода 6,2 м от уровня платформы до верхней точки

**Архитектурные и объёмно-планировочные решения**

Показатель	Станция «Лермонтовский проспект»	Станция «Жулебино»
Тип станции	Односводчатая, типового сечения, мелкого заложения	Тупиковая, колонного типа, мелкого заложения
Наличие эскалаторов	Нет	1 эскалатор
Служебные и вспомогательные помещения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вентиляционные киоски тоннельной и местной вентиляции</li> <li>• Венткамера основной вентиляции</li> <li>• Вентсбойки</li> <li>• ТПП</li> <li>• Санузел</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вентиляционные киоски тоннельной и местной вентиляции</li> <li>• Венткамера основной вентиляции</li> <li>• Вентсбойки</li> <li>• ТПП</li> <li>• Санузел</li> <li>• Тупики с ВОУ и венткамерой тупиков</li> <li>• Наземный блок помещений ночного отдыха машинистов со встроенными венткиосками</li> </ul>
Наличие шахт дымоудаления	На платформе расположены три скамьи со встроенными шахтами дымоудаления	На платформе расположены четыре скамьи со встроенными шахтами дымоудаления
Наличие светодиодных полос	По обеим сторонам вдоль платформы на расстоянии 600 мм от края установлены светящиеся светодиодные полосы для обозначения опасной зоны краев платформы	



Станция «Лермонтовский проспект»

Показатель	Станция «Лермонтовский проспект»	Станция «Жулебино»
Наличие информации для пассажиров	На путевых стенах размещаются: • шесть надписей названия станции из нержавеющей стали (по три на каждой путевой стене); • четыре схемы путевого развития, по две на каждой путевой стене На облицованных нержавеющей сталью шахтах дымоудаления так же закреплены информационные указатели	На путевых стенах размещаются: • восемь надписей названия станции из нержавеющей стали (по четыре на каждой путевой стене); • две схемы путевого развития на путевой стене 1-го пути На перегородке шахт дымоудаления так же установлена панель из нержавеющей стали с закрепленными на ней информационными указателями
Наличие колонн экстренного вызова	По центру станции размещена колонна экстренного вызова	
Количество вестибюлей	Два	
Количество выходов на поверхность	Семь лестничных выходов на поверхность с шестью павильонами, в пяти из них встроены лифты	Одиннадцать лестничных выходов на поверхность с восемью павильонами, в двух из них встроены лифты

свода и островной платформой шириной 12 м и длиной 163 м.

Основой архитектурного облика станции является железобетонный оштукатуренный некессонированный свод, выполняющий функцию отражающей поверхности светильников, закрепленных на верхней грани ребер, треугольной формы, развернутых в разном направлении, с шагом 1 м, выполняющих роль рассеивателя. Ребра выполнены из алюминиевых трехслойных панелей с сотовым заполнением и сгруппированы в 10 блоков, перемежающимися вставками из горизонтальных ребер с невысоким рельефом. На границе каждого блока установлены наклонные цветные переборки, которые задают масштабный ритм потолка с шагом 16 м. В цоколе путевой стены размещаются трубы для прокладки кабелей. Цоколь облицован также алюминиевыми трехслойными панелями с сотовым заполнением на металлическом каркасе. Панели разбиты на пять участков разного цвета, который меняется синхронно с цветом переборок на своде.

В начале и конце платформы на стенах перед входами на служебную зону расположены пожарные шкафы и шкафы поливочных кранов, а также телефонная и сигнальная аппаратура. На торцах платформы, на тоннельном портале перед головными вагонами установлены устройства отсчета времени, антенны связи, телекамеры, просматривающие края платформы, входы в служебные помещения и лифты для маломобильных граждан с тамбурами, которые используются как зоны безопасности при пожаре. Телекамеры, просматривающие платформу, установлены в торцах станции по оси платформы.

По краям платформы, от сходных устройств до дверей входов в служебные помещения и лифты для маломобильных граждан, установлены ограждения из нержавеющей стали высотой 1600 мм для безопасности пассажиров и персонала, а также для предотвращения проникновения посторонних лиц в тоннели.

### **Платформенная часть станции «Жулебино»**

Платформенный участок островной, типового прямоугольного сечения. Станция двухпролетная, с центральным расположением колонн с шагом 6 м, с высотой зала 4,8 м от уровня платформы до верхней точки потолка, шириной платформы 12 м и длиной 163 м.

Поверхность путевых стен и большей части потолка облицована наклонными алюминиевыми трехслойными панелями с сотовым заполнением с шлифованной поверхностью, которые являются фоном и в которой отражаются яркие разноцветным колонны, поверхность которых, обращенная к вестибюлям, облицована плитой из глазурованной терракотовой объемной керамики на металлическом каркасе. Для уменьшения зрительной массы поверхность колонн, обращенная к путевым стенам, облицована алюминиевыми трехслойными панелями с сотовым заполнением с лицевой поверхностью из нержавеющей стали.

Вдоль оси станции, в створе с колоннами, встроены подшивной потолок из алюминиевых панелей Linear V100, за которым установлены люминесцентные светильники сплошной полосой. За счет такого сочетания светильников и потолка создается ощущение сплошного светящегося потолка. Этот потолок проходит от торца станции у вестибюля № 2 единой линией сквозь весь платформенный участок и входит в подходовый коридор от вестибюля № 1 и обрывается у эскалаторов.

Края платформы освещены парными лентами линейных светильников, которые имеют плавные изломы в плане вдоль платформы.

По краям платформы, от сходных устройств до дверей входов в служебные помещения и лифты для маломобильных граждан, установлены ограждения из нержавеющей стали высотой 1600 мм для безопасности пассажиров и персонала, а также для предотвращения проникновения посторонних лиц в тоннели.

### **Уровень применения инновационных технологий и материалов**

#### *Отделочные материалы*

В проекте применены долговечные и высококачественные материалы, отвечающие действующим нормам и правилам, а также функциональному назначению помещений.

Колористическое решение архитектуры комплекса выполнено на контрасте яркой цветовой шкалы на стенах и элементах потолка платформенного участка, стен вестибюлей и черно-серо-белой графике полов, потолков и прочих элементов интерьера.

В отделке применен натуральный камень – гранит и мрамор белых, черных и серых тонов в сочетании с цветными панелями на путевой стене и керамическими плитками на стенах вестибюлей и пешеходных переходов.

На потолке помимо оштукатуренной белой поверхности свода станции и переходах использованы белые алюминиевые трехслойные панели с сотовым заполнением на станции и цвета натурального алюминия потолка в общественной зоне вестибюля.

#### *Платформенная часть*

Пол платформы – полированный гранит толщиной 30 мм двух оттенков серого и темно-серого цвета из гранита породы «Покостовский» и габбро-диабаз, термообработанный гранит «Сибирский».

Свод платформенной части (станция «Лермонтовский проспект») – затирка, штукатурка, окраска в белый цвет RAL 9003, разноцветные панели и белые алюминиевые трехслойные панели с сотовым заполнением;

Колонны (станция «Жулебино») – разноцветные глазурованные плиты 40 мм из терракотовой объемной керамики на металлическом каркасе и алюминиевые трехслойные панели с сотовым заполнением с лицевой поверхностью из нержавеющей стали на гранях колонн, обращенных к путевым стенам.

Путевые стены – цветные алюминиевые трехслойные панели с сотовым заполнением на металлическом каркасе.

Путевой бетон – окрашивание в цвет по RAL 9004 (черный) краской Hansa Sokkel.



Станция «Жулебино»

Торцевые стены – плиты 40 мм из глазурованной терракотовой объемной керамики на металлическом каркасе светло-серого цвета.

Двери – стальные противопожарные двери выходов из служебных и технологических помещений из нержавеющей стали фирмы ОАО «Металлоизделия».

*Детали и малые архитектурные формы*

Ограждения и поручни – нержавеющая сталь в сочетании со стеклом.

Люки и трапы, видимые пассажиру – нержавеющая сталь.

Конструкции мониторов, зеркал, обрамлений табло отсчета времени, кронштей-

нов подвесных указателей, ручных стоп-сигналов, створок поливочных кранов, электрических розеток для уборочной техники в зоне, видимой пассажиру – нержавеющая сталь.

Конструкция скамей – стальной каркас, сотовые панели с лицевой поверхностью из полированной нержавеющей стали с закрепленными на ней информационными указателями, сиденья – дерево твердых пород.

Надписи наименования станции – нержавеющая сталь.

**Разработчики проекта**

Генеральная проектная организация – ОАО «Мосинжпроект».

Проектные организации – ОАО «Метрогипротранс», ЧАО «Харьковметропроект».

Главный инженер проекта – Овчинников Константин Вениаминович, ОАО «Метрогипротранс».

Главный архитектор проекта – Борзенков Леонид Леонидович, ОАО «Метрогипротранс».

Главный инженер проекта – Сниткин Юрий Владимирович, ЧАО «Харьковметропроект».

Заместитель главного инженера проекта – Дербисов Артём Маратович, ОАО «Метрогипротранс».

Станции «Лермонтовский проспект» и «Жулебино» были открыты для пассажиров 9 ноября 2013 г.



# СТРОИТЕЛЬСТВО ЭСКАЛАТОРНЫХ ТОННЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

К. П. Безродный, М. О. Лебедев, Г. Д. Егоров, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург



Тоннели и станции Санкт-Петербургского метрополитена располагаются в плотных протерозойских и кембрийских глинах. Выше находятся водонасыщенные четвертичные отложения. Эскалаторные тоннели пересекают эти грунты. На сегодняшний день реализовано несколько способов сооружения этих тоннелей и конструкций обделок для снижения деформаций дневной поверхности. Классическим способом строительства эскалаторных тоннелей для Санкт-Петербурга является способ замораживания водонасыщенных грунтов для их стабилизации. Крепление выполняется сборной тубинговой обделкой. Разработка малоосадочных технологий строительства позволила реализовать метод комплексной стабилизации грунтов с закреплением грунта методом струйной технологии и замораживания в пределах закрепленных грунтов, проходку эскалаторных тоннелей при помощи тоннелепроходческого механизированного щита с грунтовым пригрузом забоя, а также строительство под защитой «стены в грунте» в сочетании с методом струйной цементации.

**И**нженерно-геологические условия строительства Петербургского метрополитена считаются сложными. С поверхности мощностью до 40 м расположена толща четвертичных водонасыщенных отложений. Грунты чрезвычайно неустойчивы. Под четвертичными отложениями находится мощный слой плотных сухих протерозойских глин, в которых строятся перегонные тоннели и станционные узлы.

Существующие в XX в. технологии строительства станционных узлов метрополитена и наклонных эскалаторных тоннелей приводили к значительным деформациям вышележащей толщи грунта и расположенных на ней зданий и сооружений, приводящим иногда к нарушению конструкций и к полному выводу сооружений из эксплуатации.

## Осадки земной поверхности над тоннелями

Рассмотрим особенности решения проблем, связанных с технологией строительства эскалаторных тоннелей, для такого мегаполиса, которым является Санкт-Петербург. Опыт строительства метрополитена свидетельствует о том, что наибольшее влияние на величину осадок дневной поверхности при использовании традиционной («классической») технологии, основанной на методе контурного рассольного замораживания, оказывало строительство эскалаторных тоннелей с разработкой забоя вручную (отбойными молотками) и креплением сборной обделкой из чугунных тубингов. Эта технология (замораживание грунта) приводила к деструктуризации грунта, что обычно сказывалось на увеличении осадок при его оттаивании уже после завершения проходки. В

процессе пассивного замораживания наблюдались значительные деформации обделки пройденного участка тоннеля и поднятие поверхности над ним на величину до 40–60 мм (рис. 1). После завершения работ по первичному и контрольному нагнетанию за обделку процесс замораживания прекращался. Во время оттаивания ледопородного цилиндра, сформировавшегося при замораживании, происходили значительные деформации обделки тоннеля и осадки земной поверхности. Максимальные величины деформаций дневной поверхности при строительстве эскалаторных тоннелей по рассмотренной технологии составляют 550 мм. В отдельных случаях деформации достигали 900–1000 мм. Следствием этого являлись значительные повреждения и разрушения существующих зданий и сооружений.

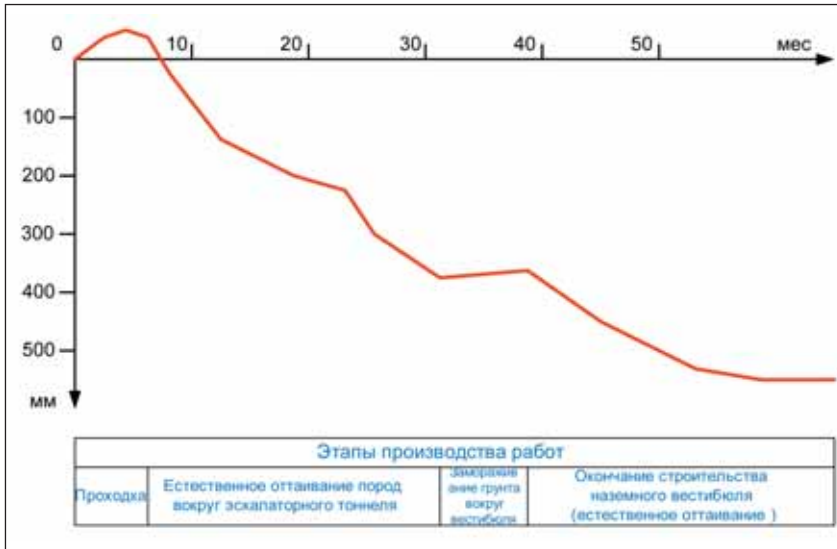


Рис. 1. Динамика деформаций дневной поверхности при строительстве эскалаторного тоннеля с заморозкой всей толщи четвертичных отложений. Обделка тоннеля сборная из чугунных тубингов

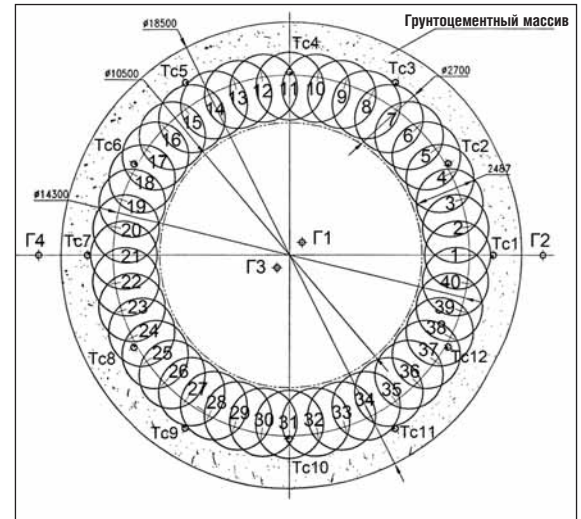


Рис. 2. Проектное закрепление вмещающего тоннель массива: 1-40 – замораживающие скважины; Тс1-Тс2 – наблюдательные термометрические скважины; Г1-Г4 – гидрогеологические скважины

Снижение влияния технологических процессов, сопровождающих строительство метрополитена, на состояние земной поверхности и связанную с этим сохранность зданий и сооружений имеет уникальное культурно-историческое значение. В некоторых случаях отсутствие технологического решения для снижения деформаций дневной поверхности откладывало на десятилетия строительство объектов метрополитена в исторической части Санкт-Петербурга.

**Комбинированная технология с малой осадкой**

Наиболее перспективным направлением решения этих проблем следует считать разработку малоосадочных технологий строительства выработок метрополитенов и внедрение конструктивных параметров их крепления, обеспечивающих минимизацию воздействия процессов строительства на деформации дневной поверхности.

Значительные смещения земной поверхности при использовании рассольного замораживания инициировали поиск и проверку новых технологий закрепления грунтового массива при сооружении эскалаторных тоннелей. Одной из таких технологий является так называемая комбинированная технология, сочетающая струйную технологию и рассольное замораживание грунта, реализованная при строительстве эскалаторного тоннеля станции «Звенигородская».

Закрепление массива Jet-сваями осуществлено рядами вертикальных скважин, пробуриваемых вдоль оси наклонного хода. Цементация производилась зонально, обеспечивая создание грунтоцементного ограждения необходимой толщины.

Для обеспечения безопасности проходки, наряду с цементацией было выполнено страховочное контурное замораживание (рис. 2) наклонными скважинами, перекрывающее возможные «окна» в цементном камне. Замораживание выполнялось из расчета недопущения выхода контура заморозки за

пределы закрепленного массива для обеспечения минимальных деформаций в процессе замораживания и последующего оттаивания. Разработка забоя осуществлялась экскаватором и отбойными молотками. Крепление тоннеля выполнялось в два этапа. При проходке возводилась временная обделка, представленная стальными арками из двутавра и заполнением межрамного пространства тяжелым бетоном. После проходки на всю длину, на временную обделку наносилась обмазочная гидроизоляция и возводилась постоянная монолитная железобетонная обделка.

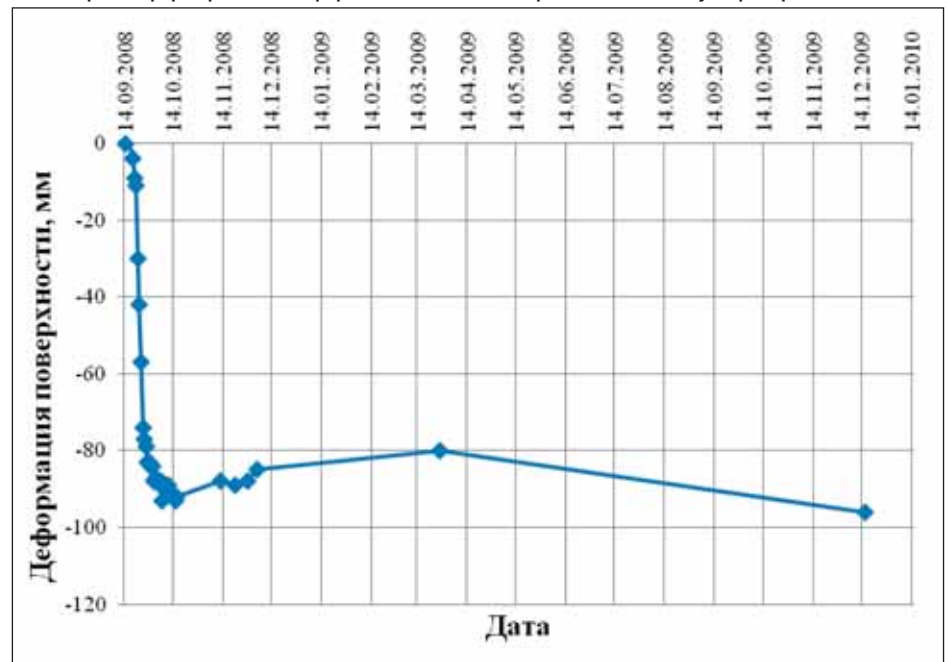
Эффективность использования предлагаемой комбинированной технологии была подтверждена сопоставлением данных экспериментальных исследований деформаций дневной поверхности с «классической» технологией. Данные измерений (рис. 3) пока-

зали, что при использовании комбинированной технологии смещения земной поверхности были в 5 раз меньше.

Наиболее эффективной для минимизации деформаций дневной поверхности показала себя схема строительства эскалаторного тоннеля под защитой «стены в грунте» и закрепления грунтов методом струйной цементации. Данные методы обеспечения устойчивости массива и противофильтрационной завесы не новы и применялись при строительстве объектов метрополитена с 90-х гг. XX в. Но к настоящему времени применяемая механизация и отработанная технология ведения работ позволили, на примере строительства второго выхода со станции «Спортивная», получить действительно функциональные ограждающие конструкции.

По периметру эскалаторного тоннеля выполняется «стена в грунте» из монолитного

Рис. 3. Кривая формирования деформаций дневной поверхности по одному из реперов



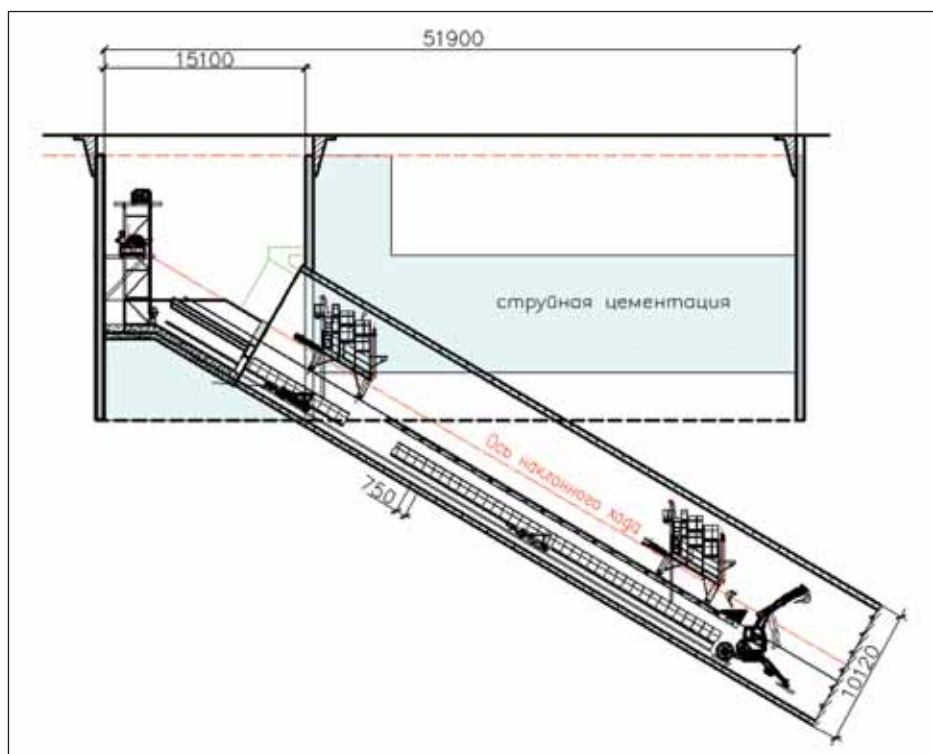


Рис. 4. Сооружение эскалаторного тоннеля под защитой «стены в грунте» и закрепления грунтов струйной цементацией

железобетона (рис. 4). Внутри контура, ограниченного «стеной в грунте» ниже горизонтального диаметра сооружаемого тоннеля, выполняется закрепление грунтов методом струйной цементации.

Проходка эскалаторного тоннеля ведется с механизированной разработкой забоя экскаватором и возведением временной аркобетонной крепи (установка кольцевых арок из двугавра и заполнением межрамного пространства набрызг-бетоном). Возведение постоянной обделки начинается после проходки тоннеля с временной крепью на всю длину. По внутренней поверхности временной крепи наносится обмазочная гидроизоляция. Возведение постоянной обделки начинается с монтажа арматур-

ных каркасов с последующей укладкой бетона сначала в нижнюю часть сечения тоннеля, а затем в верхнюю. Отставание бетонирования верхней части регламентируется условиями размещения и обслуживания опалубочного оборудования. Такая схема горнопроходческих работ была применена и при проходке эскалаторного тоннеля на станции «Звенигородская».

Проходка эскалаторного тоннеля по рассмотренной технологии закончена в декабре 2013 г., при этом деформации поверхности составили 15–20 мм.

К сожалению, данная схема строительства имеет ограниченное применение в условиях Санкт-Петербурга – сравнительно незначительной мощностью четвертичных отложе-

ний. Для рассмотренных условий мощность четвертичных отложений составила 20 м при средней величине по Санкт-Петербургу 40 м.

### Механизированная технология с ТПМК

Другое направление снижения осадок дневной поверхности при сооружении эскалаторных тоннелей связано с применением тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), представляющих собой комплекс с системой грунтопригруза, способной поддерживать забой, уравнивая давление грунта и воды, а также воздействовать на грунт посредством нагнетания химических реагентов. ТПМК производства немецкой фирмы «Херренкнехт АГ» были применены для строительства эскалаторных тоннелей станции «Обводный канал» (рис. 5), «Адмиралтейская» и «Спасская».

Эскалаторный тоннель выполнен в сборной железобетонной обделке диаметром 10,4 м (см. рис. 5), толщина блоков 500 мм. Блочная железобетонная обделка – из водонепроницаемого бетона с резиновым уплотнением стыков. Для монтажа обделки использовался эректор. Соединение элементов кольца между собой и с ранее установленным кольцом осуществлено болтами. Заобделочное пространство заполнялось специальным водонепроницаемым двухкомпонентным быстротвердеющим раствором, смешивание которого осуществлялось в момент его нагнетания.

Совершенствование технологии сооружения эскалаторных тоннелей с помощью ТПМК позволило добиться значительного снижения величины осадок дневной поверхности с 95 мм на станции «Обводный канал» до 46 мм на станции «Адмиралтейская» и 25 мм на станции «Спасская» (рис. 6).

Результаты выполненных исследований показывают, что даже в крайне неблагоприятных горно-геологических условиях Санкт-Петербурга негативное воздействие на осадки земной поверхности и связанный с этим процесс разрушения зданий, попадающих в зону мульды сдвижения, может быть снижено с помощью предлагаемых технологий сооружения и конструкций обделок наклонных эскалаторных тоннелей.

Во всех случаях при строительстве эскалаторных тоннелей проводили геотехнический мониторинг, в состав которого кроме контроля деформаций дневной поверхности входило определение напряженно-деформированного состояния системы «обделка – грунтовый массив». Для этого обделка тоннеля оснащалась контрольно-измерительной аппаратурой для определения усилий в обделке. В грунтовом массиве в предварительно пробуренных вертикальных скважинах размещались датчики контроля гидростатического давления и экстензометры для контроля напряженно-деформированного состояния массива от контура тоннеля до дневной поверхности.

Для оперативного отслеживания процессов, происходящих в контролируемом грунтовом массиве, зданиях на дневной поверхности, попадающих в зону влияния строительства, и

Рис. 5. Начало проходки эскалаторного тоннеля станции «Обводный канал»





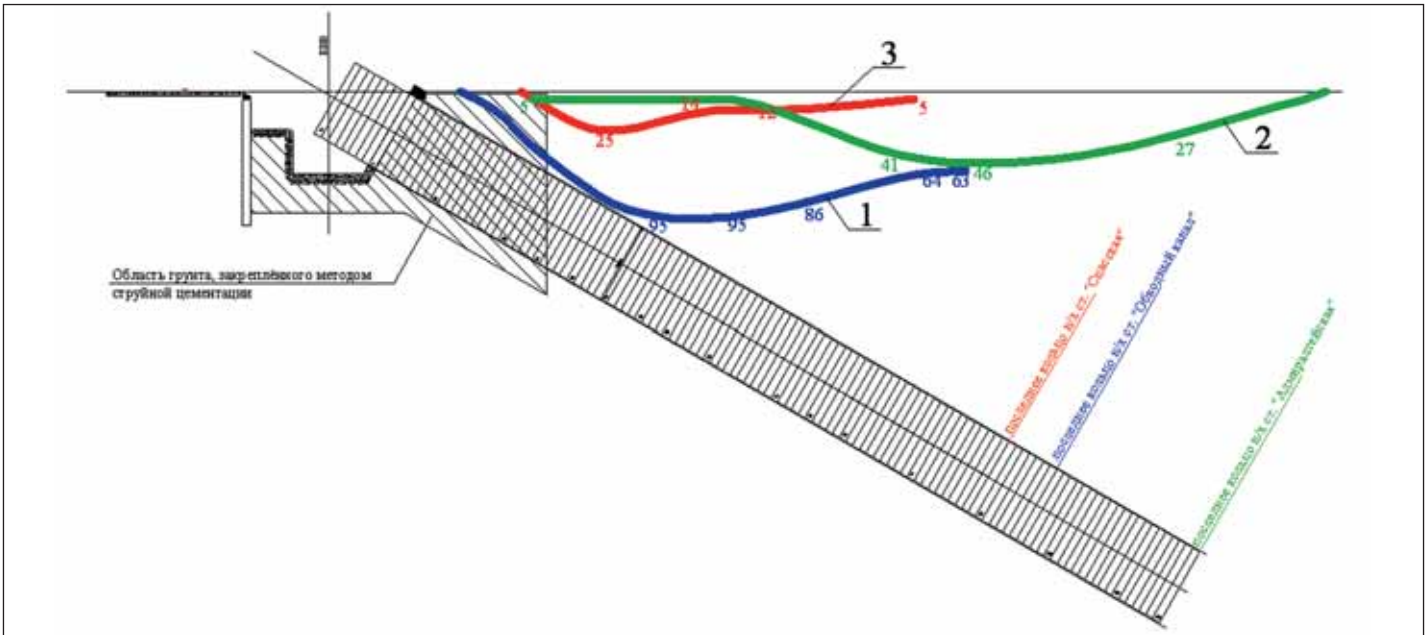


Рис. 6. Деформации дневной поверхности при строительстве эскалаторных тоннелей щитовым способом, мм: 1 – ст. «Обводный канал», 2 – ст. «Адмиралтейская», 3 – ст. «Спасская»

своевременного учета полученных результатов мониторинга в корректировке технологических параметров проходки подземных сооружений были использованы автоматизированные системы мониторинга.

Применение автоматизированной системы мониторинга грунтового массива позволило полностью контролировать динамику развития деформационных процессов (рис. 7) и изменение его напряженного состояния по датчикам гидростатического давления. Причем одновременное наблюдение за положением стержней экстензометров, установленных на разных глубинах, сделало возможным отследить распространение фронта вертикальных деформаций от контура тоннеля до дневной поверхности. На основе результатов мониторинга принимались решения о проведении работ по компенсационному нагнетанию в основание зданий, попавших в зону влияния строительства эскалаторного тоннеля станции «Адмиралтейская».

Использование современных автоматизированных систем геотехнического мониторинга грунтового массива (в комплексе с традиционными методами контроля) при проходке подземных сооружений различного назначения, особенно в условиях городской застройки, является эффективным элементом технологического процесса, позволяющим значительно снизить риски возникновения аварийных ситуаций и повысить эффективность защитных геотехнических мероприятий.

Измерение усилий в сборной железобетонной обделке эскалаторных тоннелей показало, что в среднем нормальные тангенциальные напряжения составляют около 5,3 МПа при максимальных значениях 15,3 МПа. По всему периметру обделки на внешнем и внутреннем контуре напряжения, как правило, сжимающие. Напряжения вдоль оси тоннеля незначительны – 0,8–0,9 МПа.

Применение временной кольцевой крепи из двутавра с заполнением межрамного про-



Рис. 7. Кривые формирования деформаций массива по одной из скважин, отражающие все операции технологического цикла

странства бетоном или набрызг-бетоном исключает из работы постоянную монолитную железобетонную обделку. Исследования формирования напряженно-деформированного состояния обделок при строительстве эскалаторных тоннелей на станциях «Звенигородская» и «Спортивная-2» показали, что постоянная обделка воспринимает усилия только от собственного веса.

### Заключение

Полученные результаты напряженно-деформированного состояния системы «обделка – грунтовый массив» были сопоставлены с расчетными величинами, вычисленными методами механики сплошной среды. Сопоставление показало, что при применяемых технологиях и конструкциях в данных инженерно-геологических условиях расчеты методами механики сплошной среды отражают реальную работу обделок подземных сооружений с вмещающим массивом. Внедряемые малоосадочные технологии строительства метрополитена позволили на порядок и более снизить осадки дневной поверхности по сравнению с класси-

ческой технологией строительства эскалаторных тоннелей методом замораживания.

### Литература

1. Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Старков А. Ю., Лаптев Н. А., Морозов А. В., Уханов А. В. Геотехнический мониторинг сопровождения строительства эскалаторных тоннелей с помощью ТПМК // Метро и тоннели. – 2012. – № 1.
2. Маслак В. А., Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Захаров Г. Р., Ледяев А. П., Старков А. Ю. Малоосадочные технологии при строительстве метро в историческом центре Санкт-Петербурга // Метро и тоннели. – 2012. – № 6.
3. Безродный К. П., Маслак В. А., Марков В. А., Лебедев М. О., Старков А. Ю., Морозов А. В., Уханов А. В. Комбинированная технология стабилизации грунтов при сооружении эскалаторных тоннелей станций Петербургского метрополитена // Метро и тоннели. – 2009. – № 5.
4. Старков А. Ю., Лаптев Н. А. Итоги проходки наклонного хода станции «Обводный канал» в Санкт-Петербурге // Метро и тоннели. – 2010. – № 1.



# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ, КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ

Н. Н. Бычков, И. Я. Дорман, С. Г. Елгаев, С. В. Мазеин, В. Е. Меркин, М. А. Мутушев, д-ра техн. наук, Тоннельная ассоциация России

**Рассматриваются вопросы организации, на постоянной основе, научно-технического сопровождения проектирования и строительства подземных сооружений, как комплекса работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-контрольного и организационного характера, способствующего обеспечению единой научно-технической политики.**

**П**роектирование и строительство подземных сооружений – это весьма наукоемкая область техники и производства, которая существует и развивается в нашей стране и за рубежом многие десятки лет.

Данная статья носит прикладной характер, поэтому нас интересуют, в первую очередь, проблемы науки подземного строительства современного периода и, главным образом, применительно к условиям нашей страны.

Многообразие подземных сооружений очень велико. Это тоннели различного назначения (автодорожные, железнодорожные, гидротехнические, коммунальные и др.), метрополитены, хранилища различного назначения, торговые комплексы и прочие сооружения, обусловленные интенсификацией процессов комплексного освоения подземного пространства.

Наверное, оправданным будет подход, предусматривающий, что при получении научного решения по вопросам, относящимся к строительству наиболее технически сложных подземных сооружений, это «автоматически» даст решение аналогичных вопросов для более простых подземных сооружений.

В профессиональном сообществе не вызывает сомнений то обстоятельство, что наиболее сложную гамму научно-технических проблем перед нами на сегодняшний день ставит программа развития Московского метрополитена. Это обусловлено темпами и объемами проектирования и строительства, сложностью организации работ в условиях городской застройки, весьма неблагоприятной геологией и еще целым рядом причин.

Необходимо отметить, что Москва, Санкт-Петербург, другие города Российской Федерации, где ведется крупное подземное строительство, конечно же не обделены вниманием науки. В интересах этих строек (включая проектные работы) проводится большое количество научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок (НИОКР). Исполнителями этих работ являются научные учреждения, не только лучшие в нашей стране, но и снискавшие мировое признание. Это Горный институт НИТУ МИСиС (бывш. МГТУ), Московский государ-

ственный университет путей сообщения (ИПСС), Институт динамики геосфер Российской академии наук, Горный институт КНЦ РАН, ЦНИИС (филиал: Научно-исследовательский центр «Тоннели и метрополитены»), НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения, такие организации, как НИЦ ОПП «Мосинжпроект», НИЦ ТА и ряд других. В этих организациях трудятся такие маститые ученые, как Н. Н. Мельников [1], В. П. Самойлов, М. Г. Зерцалов [2], Б. А. Картозия, Б.И. Федунец [3], Е. Н. Курбацкий, В. А. Гарбер [4], К. П. Безродный [5], Д. М. Голицынский, В. Н. Кавказский, Л. В. Маковский и другие. Их вклад в науку подземного строительства трудно переоценить.

Некоторые ученые, а также заказчики, руководители строительного комплекса искренне уверены, что те НИОКР, которые выполняются, это и есть научно-техническое сопровождение проектирования и строительства подземных сооружений.

На самом деле это не так. Те НИОКР, которые выполняются в настоящее время, и в которых на самом высоком уровне решаются весьма актуальные научно-технические задачи, не являются **научно-техническим сопровождением** проектирования и строительства, а являются **локальным научно-техническим обеспечением** решения тех или иных производственно-технических проблем. Причем решения о выполнении НИОКР принимаются, как правило, организациями-заказчиками (хотя и с учетом рекомендаций ученых), которые настроены на минимизацию научных исследований и конструкторских разработок и в ряде случаев принимают технические решения административно-командными методами.

В условиях строительства Московского метрополитена проблема усугубляется большим количеством участников проектных и строительных организаций (вполне оправданным с точки зрения производственных задач). Все эти предприятия обладают высокими профессиональными качествами в своей области, но каждое из них имеет свой опыт, свои навыки, свои традиции (производственные) и, наконец, свои возможности.

И отношение к использованию научной поддержки у них у всех разное.

В результате мы сдаем метрополитену не единый комплекс, созданный на основе научно обоснованных, оптимальных, унифицированных технических решений, а «лоскутное одеяло», с которым ему придется еще долго разбираться.

Выстроить в такой ситуации какую-либо единую научно-техническую политику весьма затруднительно по указанным выше причинам, а также по причине отсутствия системы координации и контроля выполнения НИОКР.

Между тем такие системы в мировой практике существуют и реализуются они в виде постоянно действующего научно-технического сопровождения по соот-ветствующему комплексу, программе, проекту и др.

В нашей стране научно-техническое сопровождение (в истинном значении этого понятия) развито в таких отраслях, как атомная промышленность, оборонно-промышленный комплекс и т. п.

В этих отраслях назначается головная научно-исследовательская организация по научно-техническому сопровождению программы или главный конструктор комплекса, который сопровождает данный комплекс, начиная с момента выработки функциональных требований и разработки технического задания, и далее, на стадиях НИОКР, ПИР, СМР (или заводского изготовления), сдачи в эксплуатацию и функционирования по назначению (включая проведение модернизаций и реконструкций), вплоть до снятия комплекса с эксплуатации и его утилизации. При этом часть перечисленных этапов (видов работ) головная организация выполняет самостоятельно, а по остальной (как правило – преобладающей) части вносит предложение заказчику о привлечении необходимых НИИ и КБ, а затем отслеживает и координирует их деятельность в рамках данной программы (конечно же, речь не идет о мелочной опеке и тотальном контроле). Естественно, такая система обуславливает проведение большего объема НИОКР, чем при их «локальной» организа-

ции, и соответственно, приводит к увеличению расходования средств на науку.

Но это оправдано. Ведь недаром же во времена СССР (да в какой-то мере и в наше время) военно-промышленный комплекс не только был отраслью, наиболее щедро финансируемой государством, но и отраслью наиболее продвинутой в научно-техническом отношении. Причем не только в масштабах СССР, но и в мире. Кстати, подобная система применялась при проектировании и строительстве первой очереди Московского метро, которое было признано лучшим в мире (возглавлял научную комиссию академик Г. М. Кржижановский).

Такой мегаполис, как Москва, требует реализации большого количества производственно-технических программ, весьма сложных в инженерном отношении и поэтому высоко наукоемких.

Одной из таких программ является строительство метрополитена, которое бесперывно ведется уже около 90 лет.

Правительство Москвы, понимая важность проблемы, приняло ряд важных решений, направленных на выполнение положений Федерального закона «О техническом регулировании», обеспечение надлежащего качества и безопасности объектов строительства путем применения прогрессивных технических решений и научных методов решения технических вопросов на всех стадиях проектирования и строительства. В целях практической реализации указанных положений, правительство Москвы, руководство строительного комплекса, разработали совместно с Ростроем и ввели в действие рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных [6].

Разумеется, ввиду большого объема уже построенных сооружений метрополитена, выполненных проектно-исследовательских работ и строительных заделов, применить указанные рекомендации в полном объеме на данном этапе не представляется возможным. Тем более что Градостроительным кодексом РФ [7] метрополитены не отнесены к уникальным сооружениям, хотя отвечают такому критерию, как заглубление подземной части ниже планировочной отметки земли более чем на 15 м. Однако невозможность использования указанного документа по отношению к метрополитенам в полном объеме не препятствует применению его положений (как аналога) в части, касающейся формулирования задач научно-технического сопровождения при проектировании и строительстве сооружений метрополитена.

Эти задачи сформулированы в Решении по научно-техническому сопровождению проектирования и строительства объектов Московского метрополитена, принятом АО «Мосинжпроект» и Тоннельной ассоциацией России, согласованном Московским метрополитеном и утвержденном Департаментом строительства Москвы [8]. Головной

организацией по научно-техническому сопровождению определена Тоннельная ассоциация России.

Исходя из необходимости обеспечения единой научно-технической политики при создании метрополитенов, предлагается рассматривать научно-техническое сопровождение как комплекс работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-контрольного и организационного характера, выполняемых в процессе изысканий, проектирования и возведения объектов метрополитена для обеспечения качества строительства, надежности (безопасности, функциональной пригодности и долговечности) сооружений метрополитена, с учетом применяемых нестандартных проектных и технических решений, материалов и конструкций.

В ходе выполнения научно-технического сопровождения проектирования и строительства (НТСС) должны решаться задачи:

- обеспечения безопасности людей, объектов строительства, а также зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния строительства, на основе научного прогноза и анализа данных мониторинга объектов, осуществляемого специализированными организациями;
- обеспечения качества и экономичности выполняемых работ, надежности объектов строительства, с учетом их уникальности и ответственности;
- участия в предпроектной проработке концепции планируемого к сооружению объекта метрополитена;
- участия в принятии оптимальных проектных решений по техническим и технологическим вопросам, возникающим в процессе строительства, а также по вопросам, не нашедшим отражения в проектной документации;
- разработки специальных технических условий и дополнительных технических рекомендаций, не входящих в действующие нормативно-технические документы;
- экспертного анализа проектной документации в целях совершенствования объемно-планировочных и конструктивных решений, уточнения перечня особо ответственных узлов и элементов для проведения мониторинга (совместно со специализированными организациями и проектировщиком);
- анализа выполненных расчетов по проектируемому объекту строительства и разработки рекомендаций (при необходимости) по защите окружающих зданий и сооружений;
- составления программы работ по проведению НТСС и технических заданий на различные виды мониторингов;
- участия в составлении перечня и подготовке технических заданий на разработку ППР, технологических карт, регламентов, ТУ и др.;
- анализа и обобщения данных всех видов мониторинга, полученных от специализированных организаций;

- оценки пригодности конструкций, выполненных с отклонениями от проекта, в том числе обоснованной соответствующими расчетами и дополнениями к проектной документации (совместно с проектировщиком);

- разработки рекомендаций и предложений по совершенствованию технологий строительно-монтажных работ и применению новых эффективных материалов на основе передовых достижений науки, техники, зарубежного и отечественного опыта.

В данных предложениях не затронуты задачи мониторинга, в том числе мониторинга несущих конструкций, геотехнического мониторинга, мониторинга зданий и сооружений окружающей застройки и др. Безусловно, эти работы при строительстве проводятся, но они, так же, как и НИОКР, единообразно не структурированы, не подвергаются комплексному анализу и координации, не обеспечены сметно-финансовым механизмом и не защищены от действий отдельных должностных лиц, желающих на этом сэкономить.

Научно-техническое сопровождение и мониторинг тесно связаны и должны развиваться совместно. Необходимо, чтобы специалисты, практикующие в этой области, вносили свои предложения по совершенствованию и оптимизации мониторинга и НТСС в свете изложенного.

### Литература

1. Мельников Н. Н., Епимахов Ю. А., Абрамов Н. Н., Кабеев Е. В. *Сотрудничество науки и производства – залог эффективного и безопасного строительства подземных сооружений // Метро и тоннели. – 2013. – № 6.*
2. Меркин В. Е., Зерцалов М. Г., Конюхов Д. С. *Управление геотехническими рисками в подземном строительстве // Метро и тоннели. – 2013. – № 6.*
3. Яцков Б. И., Синицкий Г. М., Кутузов Б. Н., Максимова В. Н., Меркин В. Е., Федунец Б. И. *Лефортовские тоннели. Как строить: открытым или закрытым способом? // Метро и тоннели. – 2001. – № 4.*
4. Гарбер В. А. *Как оптимизировать процесс проектирования новых линий метрополитенов // Метро и тоннели. – 2013. – № 4.*
5. Безродный К. П. *Роль науки в технологических и конструктивных решениях Ленметрогипротранса // Метро и тоннели. – 2006. – № 6.*
6. МРДС 02-08 *Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных. М: Правительство Москвы; Госстрой. – 2008.*
7. *Градостроительный кодекс РФ (редакция, действующая с 22.01.2015 г.).*
8. *Решение по вопросу научно-технического сопровождения проектирования и строительства объектов Московского метрополитена, М, 2015 г.*



# К ВОПРОСУ О ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВАХ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРУДНОСТИ ИХ РАЗРАБАТЫВАНИЯ

**В. П. Абрамчук**, начальник ФГУП «УС-30»

**А. Ю. Педчик**, заместитель начальника

**В. В. Костенко**, главный инженер

**Ф. Г. Меденков**, главный специалист по ГИО

**Р**ассмотрение изученности вопроса о категорировании горных пород по трудности их разрабатывания, являющегося одним из немаловажных аспектов в развитии горно-строительных технологий, выявило неудовлетворительное его состояние не только в научном плане, но и в практическом отношении, на что мы неоднократно указывали в последнее время на страницах данного журнала [1, 2].

Достаточно в этой связи отметить, что на настоящий момент полностью отсутствует его регламентация даже в нормативных документах федерального уровня принадлежности. Существующие до сих пор представления по данному вопросу нуждаются в существенной доработке, предпочтительно на более совершенной научной основе.

Поскольку данный вопрос постоянно находится в поле зрения организаций, занимающихся реальным строительством, они вынуждены самостоятельно уделять усиленное внимание его разрешению в своей практической деятельности, не претендуя, впрочем, на полное понимание всех физических аспектов, участвующих в формировании сущностной основы вопроса.

И, тем не менее, наш опыт участия в разрешении данного вопроса позволяет с уверенностью утверждать, что многие современные представления о физических процессах, сопровождающих подземное строительство, прежде всего в условиях крепких скальных массивов, не отвечают требованиям их адекватности реальным условиям ведения горно-строительных работ. Прежде всего, это относится к попыткам описания поведения горных пород под воздействием

строительных технологий на детерминированной основе, как, например, это представлено во всех ранее действующих нормативных документах.

При этом, как и ранее, современная трактовка вопроса и в научном отношении также подвержена существенному его упрощению, вплоть до искажения первоначального смысла, сформулированного проф. М. М. Протодьяконовым. Необходимо отметить, что М. М. Протодьяконов предложил, прежде всего, дифференцированную на различные категории шкалу крепости горных пород, в основу которой положены достаточно расплывчатые представления о коэффициенте крепости горных пород.

Все последующие исследования были нацелены на поиск физико-механических характеристик, позволяющих его определение на более строгой инструментальной основе. При этом в большинстве случаев происходила некоторая недооценка технико-экономического значения этого параметра.

Характерным подтверждением этому являются представления Л. И. Барона. Критикуя своих предшественников по аналогии с вышесказанным, он сам допускает ту же самую ошибку. Так, для условий разработки Хибинских апатитовых месторождений, применительно к уртам им было установлено значение коэффициента крепости порядка 8–10 (по собственной, также 20-бальной шкале), которое длительное время применялось к шкале М. М. Протодьяконова, хотя в настоящее время на рудниках предприятия ОАО «Апатит» это значение принято в диапазоне 15–20.

Почти аналогичное расхождение применительно к данной петрографической разновид-

ности характерно для метода оценки крепости горных пород по методу толчения. То есть с предложением какого-либо нового способа оценки коэффициента крепости горных пород, его необходимо еще и адаптировать к шкале М. М. Протодьяконова, к которой до сих пор привязаны технико-экономические параметры горно-строительных технологий в отечественной практике подземного строительства.

Мы уже писали, что наиболее просто адаптировать в этом отношении способ оценки трудоемкости разрушения горных пород взрывом ( $P_{тр}$ ), предложенный акад. В. В. Ржевским. Тем более что в отношении применения взрывных технологий накоплен значительный практический опыт, увязанный не столько с представлениями проф. М. М. Протодьяконова о крепости горных пород, сколько с топологией его шкалы.

Следуя логике формулы В. В. Ржевского для оценки  $P_{тр}$ , хотя она и носит эмпирический характер, нетрудно установить, что условным эквивалентом  $1 \text{ г/см}^3$  объемного веса горных пород является величина порядка 78 МПа по прочности на одноосное сжатие. Используя эту величину в качестве дополнения к оценке коэффициента крепости по упрощенной формуле М. М. Протодьяконова, получаем их практическое подобие во всем диапазоне варьирования данных на уровне их средних значений, как это легко видеть на рис. 1. При этом величине  $P_{тр}$ , равной 25, в масштабе вертикальной оси рисунка соответствует значение порядка 175 МПа или 390 МПа с учетом поправки за объемный вес.

Необходимо отметить, что в структуре данных, использованных для построения рис. 1, представлены все типы горных пород за исклю-

Рис. 1

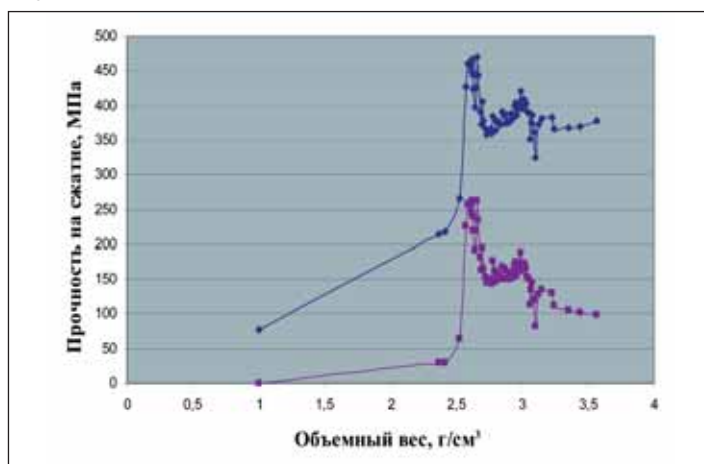
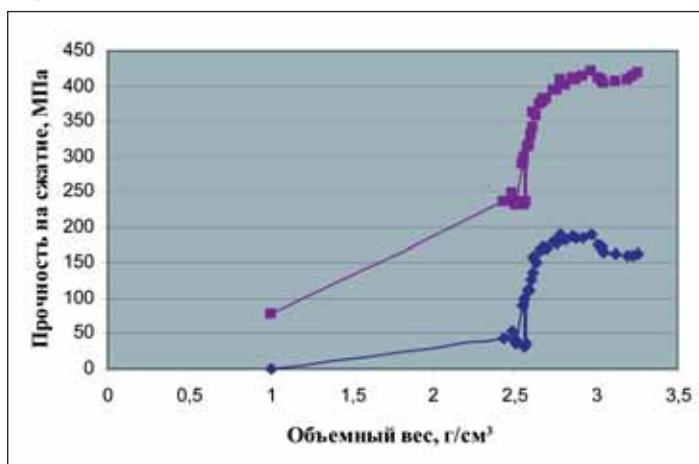


Рис. 2



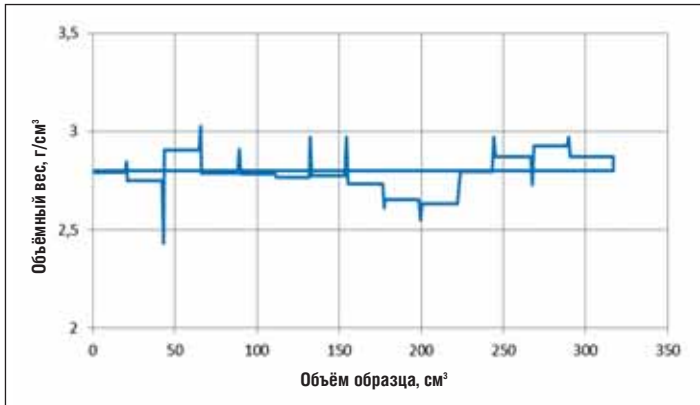


Рис. 3



Рис. 4

чением осадочных. При этом отчетливо прослеживается деление на породы с «жестким» и «мягким» типами деформирования. В целях большей доказательности существования этого деления, на рис. 2 приведены аналогичные данные для условий строительства Юкспорского тоннеля № 2, априори склонных к хрупкому типу проявления в выработках горного давления. Существенность отличий очевидна, однако их анализ и интерпретация не входят в целевые задачи данной статьи. Отметим только, что на уровне обобщения средних значений для всего диапазона варьирования прочностных показателей и объемного веса горных пород их интегральные показатели практически равнозначны.

Из анализа рис. 1 и 2 однозначно следует, что в большинстве случаев при варьировании величины объемного веса горных пород свыше 2,6 г/см³ их характеристика крепости должна относиться к высшей категории по шкале проф. М. М. Протождяконова. Но поскольку возможны разного рода исключения, необходимо ранее существующую в отечественной практике процедуру категорирования на нормативном уровне дополнить соответствующими решающими правилами.

В качестве физической основы, например одного из них, вполне может рассматриваться величина остаточного упругого энергетического потенциала горных пород, о наличии которого было изложено на страницах данного журнала за предыдущий год (№ 6). В качестве уточнения к той публикации необходимо отметить, что его величина, выделенная в процессе резания куска керна на образцы, была затрачена на совершение механической работы по изменению объема керна.

Причем это изменение носит знакопеременный характер, а количественные его значения, приведенные на рис. 4 и 5, были вычислены по отношению к величине этого потенциала для исходного куска керна, принятого за единицу. В целях большей наглядности происходящих изменений с исходным объемом керна в процессе резания его на образцы на рис. 3 представлены последовательные значения объемного веса образцов в процессе их выпиливания. Всплесками выделен объемный вес горной породы в местах реза в случае принятия гипотезы о неизменности минерального скелета



Рис. 5

горных пород в процессе его дезинтеграции. На рис. 4 представлено изменение объемного веса на выпиливаемых образцах и объеме керна до его очередного резания, т. е. встречное изменение (1-й номер для синего графика и 14-й для красного – один и тот же образец).

Данные графики наглядно иллюстрируют важность и необходимость учета изменения физико-механических характеристик горных пород на всех стадиях отбора их проб, включая и стадию непосредственной подготовки образцов к лабораторным испытаниям.

Абсолютное значение величины упругого энергетического потенциала исходного состояния керна, в силу разнообразия типов деформирования горных пород и отсутствия представлений о его состоянии в условиях естественного залегания, однозначно не определяется. Причем, не потому, что такая возможность отсутствует. Просто современные представления в физике и механике горных пород или инженерной геологии не допускают его наличия и влияния на физико-механические параметры горных пород, и поэтому необходимость такой процедуры не представлена не только в нормативных документах, но и в научных публикациях.

Если исходить из представлений о жестком типе деформирования горных пород, величина упругого потенциала исследуемого куска керна может быть оценена на уровне 16 %, как это показано на рис. 5. При этом выделенная упругая энергия в процессе резания керна на образцы составила 6,63 % от этой величины, т. е. 1,061 %, а интегральная величина упругого потенциала в объеме реза – 0,065 %.

В заключение несколько замечаний о необходимости разработки квантово-механических представлений в физике и механике горных пород. Прежде всего, необходимо критически осмыслить тот факт, что за весь предыдущий период времени, на протяжении которого велись исследования в данной области знаний, не получено каких-либо более или менее однозначных представлений о свойствах и состоянии исследуемой среды.

Во-вторых, какие бы модельные представления не использовались до сих пор в задачах математического моделирования, ни одно из них не способно отразить реальное поведение горных пород, например, условное растяжение среды в поле всесторонних сжимающих напряжений или описать незатухающий процесс возникновения ЕИЭМПЗ и т. д.

Особенно необходимо подчеркнуть, что все представления, существующие или претендующее на научную новизну, были получены с применением только одного из научных принципов познания – принципа правдоподобия, применение которого уместно лишь на стадии выбора рабочих гипотез.

И наконец, горные породы, как системно организованные среды, обладают целым набором механизмов, с одной стороны препятствующих процессам потери системно организованной внутренней энергии, а с другой стороны способны к ее накоплению. Причем накопление является непрерывным процессом, а излучение дискретно.

Все указывает на то, что центральным звеном более адекватных представлений о физико-механических процессах в горных породах должны стать процессы энерго-массопереноса.

### Литература

1. Абрамчук В. П., Педчик А. Ю., Меденков Ф. Г. *Возможность более точной оценки коэффициента крепости горных пород по величине их прочности на одноосное сжатие // Метро и тоннели. – 2010. – № 3. – С. 35–37*
2. Абрамчук В. П., Педчик А. Ю., Костенко В. В., Меденков Ф. Г., Чмыхалова С. В. *Проблемы категорирования горных пород по трудности их разрабатывания // Метро и тоннели. – 2013. – № 6. – С. 20–22.*



# ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ВРЕМЕННОЙ КРЕПИ

В. В. Чеботаев, к. т. н., НИЦ «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС

В период 2009–2012 гг. научно-исследовательский центр «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС вел научное сопровождение строительства автодорожного тоннеля № 1 на автомагистрали «Дублер Курортного проспекта» в г. Сочи при активном участии сотрудников Тоннельного отряда 44 и СТПП ТО-44 [1].

Двухполосный автодорожный тоннель № 1 сечением 13×10 м в свету и длиной около 1,5 км сооружали уступным способом, проходка велась с двух порталов одновременно. Сначала осуществлялась проходка калотты комбайном с креплением свода набрызг-бетоном с арками и сеткой (НАТМ), затем разрабатывалось ядро

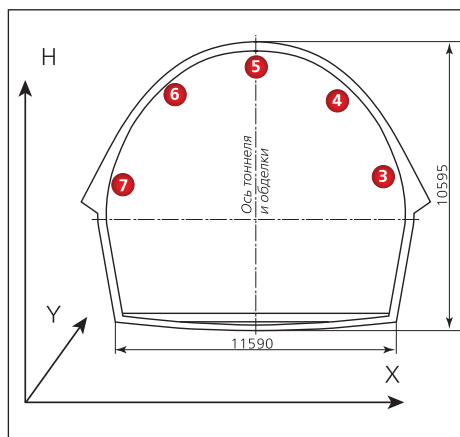


Рис. 1. Датчики НИЦ ТМ в тоннеле №1

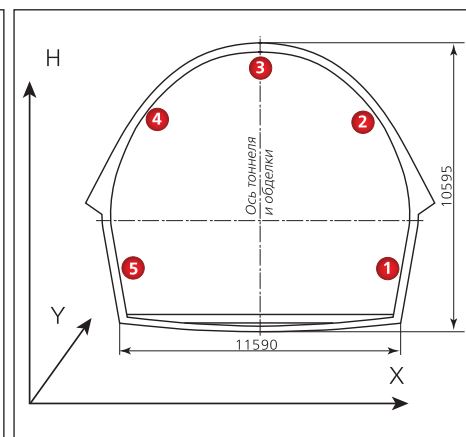


Рис. 2. Датчики ООО «ТрансТоннель» в тоннеле №1

Таблица 1

Результаты измерений деформаций на Северном портале, мм

Пикет измер. сечения	Дата проходки	Дата установки реперов	Дата стабилизации деформаций	Максимальная осадка шельги свода	Время стабилизации, мес.
Данные ООО «ТрансТоннель»					
22+74	23.03.10	12.07.10	25.10.10	+9	7
22+68	9.04.10	12.07.10	25.10.10	-7	6,5
22+63	15.04.10	12.07.10	13.11.10	-15	7
22+57	22.04.10	12.07.10	24.11.10	-15	7
22+53	01.05.10	12.07.10	01.12.10	-21	7
22+48	14.05.10	12.07.10	04.12.10	-20	7
22+44	01.06.10	12.07.10	24.11.10	-23	6
22+39	11.06.10	12.07.10	01.12.10	-30	6
22+35	02.07.10	12.07.10	24.11.10	-50	5
22+28	08.07.10	12.07.10	01.12.10	-85	5
22+23	19.07.10	30.07.10	15.11.10	-68	4
22+13	26.07.10	09.09.10	17.11.10	-27	4
22+02	10.08.10	09.09.10	17.11.10	-38	3,5
21+93	20.08.10	22.09.10	24.11.10	-30	3
21+83	03.09.10	22.09.10	03.12.10	-37	3
21+73	10.09.10	06.10.10	26.10.10	-37	1,5
21+62	15.10.10	26.11.10	13.01.11	-14	3
21+52	27.10.10	26.11.10	13.01.11	-14	2,5
21+42	08.11.10	26.11.10	13.01.11	-16	2
Данные НИЦ ТМ					
22+72	28.03.10	26.06.10	22.10.10	+30	7
22+52	01.05.10	26.06.10	12.12.10	-18	7
22+25	16.07.10	11.09.10	23.10.10	-12	3

и боковые штроссы в шахматном порядке. После этого сооружалась постоянная обделка тоннеля.

Условия заложения тоннеля – аргиллиты, песчаники, мергели и четвертичные глинистые отложения, местами обводненные. Трасса тоннеля пересекает несколько значительных тектонических разломов и складок.

НИЦ ТМ ОАО ЦНИИС вел научное сопровождение строительства в части мониторинга состояния временной крепи. Геодезические измерения деформаций временной крепи калотты выполняли две организации: ООО «ТрансТоннель» и НИЦ ТМ ОАО ЦНИИС с использованием современных высокоточных тахеометров. На рис. 1 и 2 показаны схемы оборудования сечений тоннеля реперами. Точность измерения смещений реперов составляла 1–2 мм.

В табл. 1 и 2 приведены окончательные данные измерений деформаций временной крепи калотты.

Выполненные измерения позволили оценить период стабилизации горного давления для различных вмещающих грунтов и нагрузки на временную крепь калотты на отдельных участках по специально разработанной методике.

Сопоставление времени стабилизации деформаций временной крепи с условиями заложения тоннеля показывает, что при заложении тоннеля в щебенистых грунтах стабилизация длится 6–7 месяцев, в аргиллитах пониженной прочности деформации продолжаются 3–4 месяца, в алевролитах и песчаниках – от 1 до 3 месяцев.

Таблица 2

**Результаты измерений деформаций на Южном портале, мм**

Пикет измер. сечения	Дата проходки	Дата установки реперов	Дата стабилизации деформаций	Максимальная измер. осадка шельги свода	Время стабилизации, мес.
Данные ООО «ТрансТоннель»					
8+95	14.05.10	21.05.10	24.06.10	-10	1,5
9+04	22.05.10	27.05.10	23.06.10	-13	1
9+15	30.05.10	31.05.10	23.06.10	-9	1
9+19	3.06.10	10.06.10	23.06.10	-1	1
9+31	8.06.10	16.06.10	28.06.10	-6	1
9+39	16.06.10	16.06.10	05.07.10	-14	1
9+44	22.06.10	24.06.10	11.07.10	-11	1
9+49	26.06.10	28.06.10	26.07.10	-20	1
9+57	02.07.10	05.07.10	26.07.10	-15	1
9+64	08.07.10	11.07.10	29.07.10	-13	1
9+70	14.07.10	18.07.10	12.08.10	-8	1
9+75	18.07.10	22.07.10	12.08.10	-9	1
9+80	20.07.10	22.07.10	15.08.10	-8	1
9+90	25.07.10	26.07.10	16.08.10	-9	1
9+95	28.07.10	29.07.10	16.08.10	-7	1
10+00	2.08.10	2.08.10	19.08.10	-6	0,5
10+05	5.08.10	9.08.10	02.09.10	-8	1
10+10	9.08.10	16.08.10	07.09.10	-9	1
10+15	15.08.10	19.08.10	07.09.10	-4	1
10+25	22.08.10	23.08.10	23.09.10	-6	1
10+30	24.08.10	26.08.10	23.09.10	-4	1
10+35	25.08.10	26.08.10	20.09.10	-3	1
10+40	26.08.10	26.08.10	07.09.10	-4	0,5
Данные НИЦ ТМ					
8+56	20.03.10	26.06.10	26.07.10	+3	4
8+80	28.04.10	26.06.10	30.07.10	+5	3
8+94	14.05.10	25.07.10	10.08.10	0	3
9+20	3.06.10	25.07.10	11.09.10	-4	3
9+45	24.06.10	25.07.10	11.09.10	-1	3
9+69	11.07.10	26.08.10	10.10.10	+4	3
9+94	28.07.10	11.09.10	13.11.10	-4	3,5
10+19	17.08.10	10.10.10	27.11.10	-6	3,5

Таблица 3

**Нагрузки на временную крепь тоннеля от Южного портала**

Пикет	$E_0$ , МПа	Дата проходки	Дата 1-го измерения	Дата конца измерений	Кoeff. боков. давлен.	Величина нагрузки, тс/м <sup>2</sup>
8+95	590	14.05.10	21.05.10	26.06.10	0,0	32,4
9+04	590	22.05.10	27.05.10	5.07.10	0,8	38,7
9+15	1200	30.05.10	31.05.10	5.07.10	0,0	29,1
9+31	1200	8.06.10	16.06.10	5.07.10	0,9	30,0
9+39	1200	16.06.10	16.06.10	5.07.10	0,0	59,3
9+44	1200	22.06.10	24.06.10	11.07.10	0,0	44,0
9+49	1200	26.06.10	28.06.10	26.07.10	0,1	81,7
9+57	1200	02.07.10	05.07.10	26.07.10	0,1	70,0
9+64	1200	8.07.10	11.07.10	28.07.10	0,3	79,6
9+70	1200	14.07.10	18.07.10	12.08.10	0,2	48,8
9+75	1200	18.07.10	22.07.10	12.08.10	0,2	43,6
9+80	1200	20.07.10	22.07.10	15.08.10	0,2	26,7
9+85	900	23.07.10	26.07.10	16.08.10	0,2	4,2
9+90	900	25.07.10	26.07.10	16.08.10	0,1	32,2
9+95	900	28.07.10	29.07.10	16.08.10	0,1	24,2
10+00	900	2.08.10	2.08.10	19.08.10	0,1	18,8
10+05	900	5.08.10	9.08.10	02.09.10	0,2	12,0
10+10	900	9.08.10	16.08.10	07.09.10	0,2	31,1
10+15	900	15.08.10	19.08.10	07.09.10	0,2	14,6
10+25	900	22.08.10	23.08.10	23.09.10	0,2	22,5
10+30	900	24.08.10	26.08.10	23.09.10	0,2	16,2
10+35	900	25.08.10	26.08.10	20.09.10	0,1	14,4
10+40	900	26.08.10	26.08.10	07.09.10	0,3	19,4

Продолжение табл. 3

10+74	1200	13.09.10	20.09.10	25.10.10	1,0	16,1
10+84	1200	17.09.10	23.09.10	25.10.10	0,2	50,6
10+94	900	23.09.10	27.09.10	25.10.10	0,2	40,8
11+04	900	28.09.10	04.10.10	02.11.10	0,2	25,8
11+34	1200	15.10.10	21.10.10	18.11.10	0	5,0
12+04	1000	14.11.10	18.11.10	14.12.10	0,2	12,8
12+24	1000	21.11.10	25.11.10	14.12.10	0,1	9,1
12+76	1000	12.12.10	18.12.10	05.01.11	0,1	8,8
12+96	400	20.12.10	27.12.10	24.01.11	1,8	5,7
13+06	400	24.12.10	27.12.10	24.01.11	1,8	6,4
13+18	400	07.01.11	14.01.11	24.01.11	0	5,1
13+30	400	12.01.11	14.01.11	24.01.11	0,2	13,2

Таблица 4

## Нагрузки на временную крепь тоннеля от Северного портала

Пикет	$E_0$ , МПа	Дата проходки	Дата 1-го измерения	Дата конца измерений	Кoeff. боков. давлен.	Величина нагрузки, тс/м <sup>2</sup>
22+28	50.5	08.07.10	15.07.10	26.11.10	0.1	67.1
22+23	50.5	19.07.10	30.07.10	20.01.11	0.2	49.1
21+42	50.5	08.11.10	26.11.10	20.01.11	0.1	9.3
21+31	900	22.11.10	09.12.10	20.01.11	0.1	80.8

Таблица 5

## Сравнение расчетных и измеренных нагрузок на крепь

Участок ПК от – до	Кoeff. крепости, заложение	Нагрузки, т/м <sup>2</sup>	
		Расчетные	Измеренные
8+74 – 8+98	$f = 3,9, H = 15$ м	9,5	32,4
8+98 – 9+78	$f = 4,7, H = 26$ м	7,3	50,1
9+78 – 10+45	$f = 4,2, H = 61$ м	8,6	19,1
10+45 – 10+90	$f = 4,7, H = 70$ м	7,3	33,4
10+90 – 11+25	$f = 4,5, H = 81$ м	8,0	33,3
11+25 – 11+90	$f = 4,7, H = 93$ м	7,3	6,3
11+90 – 12+95	$f = 4,3, H = 100$ м	8,2	18,5
12+95 – 13+80	$f = 2,5, H = 112$ м	14,6	7,6
19+46 – 21+30	$f = 4, H = 40 – 84$ м	9,0	18,2
21+30 – 21+65	$f = 1,25, H = 37$ м	47,7	45,0
21+65 – 22+49	$f = 3, H = 15 – 34$ м	12,3	58,1
22+49 – 22+74	$f = 2,15, H = 7 ÷ 15$ м	18,4	14,4

Кроме этого, была разработана методика определения величины горного давления на временную крепь, а также составлена программа обработки данных измерений для ПК.

Суть методики определения величины горного давления заключается в автоматизированном подборе такой расчетной схемы и величины нагрузки для сечений с измеренными деформациями, для которых сумма квадратов разностей между измеренными и расчетными смещениями конструкции будет минимальной. Здесь использована расчетная схема с заданными нагрузками – по методу расчета Метропроекта, в ко-

тором предполагаются симметричные относительно вертикальной оси конструкция крепи и распределение нагрузок.

Результаты обработки данных измерений сведены в табл. 3 и 4. Во внимание принимались те измерения, в которых начальные отсчеты были сняты вскоре после проходки.

Сравнение средних величин полученных нагрузок с расчетными (табл. 5) выполнено по параметрам участков грунтов, определенным инженерно-геологической службой СТП ТО-44. Расчетные нагрузки определены по методу Метропроекта от свода обрушения с коэффициентом надежности по нагрузкам 1,5.

Сравнение расчетных и измеренных нагрузок показывает, что они более или менее совпадают только на трех участках, при коэффициентах крепости грунта от 1,25 до 2,5, из двенадцати. В остальных случаях измеренные нагрузки превышают расчетные в 2–6 раз. Возможной причиной такого результата является завышение коэффициента крепости грунта вследствие игнорирования его ползучести, а также несоответствие симметричной расчетной схемы и фактического нагружения временной крепи ввиду анизотропии свойств наклонных пластов.

## Выводы

1. В разрушенных грунтах данного региона стабилизация горного давления длится 6–7 месяцев, в аргиллитах пониженной прочности деформации продолжают 3–4 месяца, в алеволитах и песчаниках – от 1 до 3 месяцев.

2. Величина горного давления, определенная по измеренным деформациям временной крепи калотты, удовлетворительно совпадает с расчетной, определенной по методу Метропроекта с использованием найденных геологами коэффициентов крепости, только для значений коэффициента крепости  $f_{кр} \leq 2,5$ . Для более высоких значений  $f_{кр}$  фактические нагрузки превышают расчетные в 2–4 раза.

## Литература

1. Меркин В.Е., Щекудов Е.В., Чеботаев В.В., Гиренко И.В., Гоглидзе Л.В., Алексеев А.В., Бабалян А.Л. Интенсивная технология сооружения транспортных тоннелей горным способом // Метро и тоннели. – 2010. – № 5. – С. 10–12.





# CONDAT STAB

укрепление грунтов и водонепроницаемость

**CONDAT**

LUBRIFIANTS

Компания **CONDAT**, имеющая 15-летний опыт в области тоннелестроения и работ, связанных с укреплением грунтов, всегда играла активную роль в разработке специализированных продуктов для этой отрасли. Компанией разработан полный спектр продукции, соответствующей различным типам грунтов и применяемого оборудования, а также отвечающей требованиям экологии и безопасности.

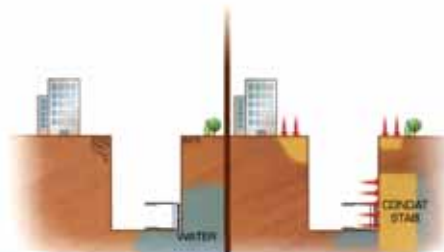
Продукция **CONDAT Stab** была разработана для решения задач укрепления грунта и водонепроницаемости при строительстве подземных сооружений и других видов подземных работ.

Компания **CONDAT** предлагает ускорители схватывания для растворов на силикатной основе, используемых для укрепления грунта путем нагнетания. Благодаря их высокой проникающей способности можно достичь максимального заполнения пустот и трещин в грунте, а следовательно, и максимальной водонепроницаемости. Нагнетание раствора в проницаемый грунт позволяет:

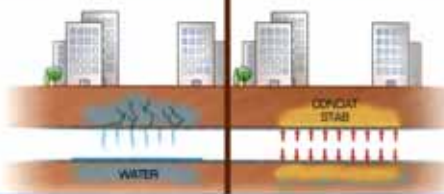
- повысить его механическую прочность;
- уменьшить проницаемость.

## Области применения CONDAT Stab

**Укрепление стен стартовых котлованов при запуске тоннелепроходческих комплексов**



**Ремонт существующих подземных коммуникаций в случае их повреждения**



**Ремонт и укрепление фундаментов**



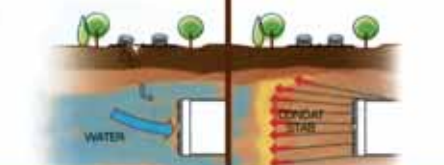
**Водонепроницаемость и герметизация подземных сооружений**



**Укрепление насыпей**



**Работа тоннелепроходческого комплекса в предельно тяжелых условиях**



Официальный представитель фирмы Condat Lubrifiants в России

ООО «ТА Инжиниринг Инт.»

107078, Москва, ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3

тел.: (495) 724-7481

тел./факс: (495) 981-8071

реклама

# ОБ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

**И. Я. Дорман**, д-р техн. наук, проф., академик РАЕН,  
вице-президент по научной работе ОАО «Метрогипротранс», Москва

**Д**о землетрясения в г. Ташкенте в 1966 г. практически отсутствовали нормы и правила проектирования и строительства транспортных и других тоннелей в сейсмических районах.

В связи с необходимостью строительства в 9-балльных сейсмических зонах метрополитена в Ташкенте и сооружения горных тоннелей на трассе Байкало-Амурской магистрали в Министерстве транспортного строительства СССР началась планомерная работа по разработке теории и практики проектирования.

В научно-исследовательском институте транспортного строительства (ЦНИИС Минтрансстроя) под руководством автора статьи была создана специализированная лаборатория, в которой совместно с головными институтами по проектированию метрополитенов – ОАО «Метрогипротранс» и горных тоннелей – «Ленметрогипротранс», а также ряда институтов Академий наук Узбекистана и Казахстана и ученых Тульского политехнического института были разработаны основополагающие принципы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в сейсмических районах.

Основной идеологией исследований было изучение того фактора, что в отличие от наземных конструкций, где дополнительными источниками сейсмических воздействий являются инерционные нагрузки от масс сооружений, для подземного сооружения грунтовой массив, в котором расположен тоннель, является при колебаниях не только дополнительной нагрузкой и источником деформаций, но и препятствием к таким деформациям. Именно такой феномен и подвергся изучению.

Основой обеспечения сейсмостойкости транспортных тоннелей стали разработанные принципы проектирования, строительства и эксплуатации.

Эти принципы основываются на разработанных методах расчета и конструирования тоннельных обделок, соблюдении специальных требований при строительстве и создании системы эксплуатационного мониторинга за колебаниями тоннельной конструкции в течение всего срока ее службы.

Фактические данные о повреждениях тоннелей во время сильных землетрясений свидетельствуют о многообразии остаточных деформаций обделок, выражающихся в появлении большого числа разноориентированных трещин, искажении первоначальной формы конструкции, нередко с обрушением ее сводов.

Можно выделить следующие характерные особенности и основные закономерности

появления деформаций тоннелей при землетрясении:

- наибольшие остаточные деформации тоннельных обделок возникают на участках тоннелей, расположенных вдоль горных склонов, в местах смены литографического состава грунтов, при изменении глубины заложения тоннелей вследствие резкого изменения рельефа;

- степень устойчивости тоннельных обделок при прочих равных условиях пропорциональна крепости грунтов;

- повреждения обделки тоннелей на участках мелкого заложения являются наибольшими по сравнению с повреждениями глубоко заложённых участков тех же тоннелей;

- случаи обрушения обделок лишь в отдельных местах на ограниченных площадях указывают на то, что существенное увеличение горного давления, обусловливаемое землетрясением, в значительной степени связано с местными нарушениями в массиве грунта, такими, как, например, наличие водонасыщенных грунтов, а также нарушениями технологии производства строительных работ (появление раздробленных грунтов вокруг выработки после буровзрывных работ, плохая засыпка котлованов, некачественное нагнетание и др.);

- порталы большинства тоннелей получают повреждения и разрушаются независимо от того, из какого материала они выполнены. В лучшем случае на припортальных участках по всему периметру обделки возникает много продольных и поперечных трещин. Это явление является результатом влияния, в отличие от глубинных участков тоннеля, значительных инерционных сил от давления грунта на припортальные подпорные стены, особенно при большой крутизне откоса у портала тоннеля;

- при пересечении трассой тоннеля тектонических разломов возможно смещение смежных участков обделки (независимо от типа ее конструкции) на расстояние до нескольких десятков сантиметров от первоначальной оси тоннеля в поперечном к оси трассы направлении;

- большое влияние на работу подземных конструкций при землетрясениях оказывают грунтовые условия. Наибольшие разрушения подземных сооружений отмечены в рыхлых неуплотненных грунтах, а также в местах контакта грунтов с резко отличающимися физико-механическими свойствами.

При прохождении в грунтовой массиве сейсмических волн сжатия-растяжения и сдвига, распространяющихся от очага землетрясения, в каждом элементе грунта, помимо бытового напряженного состояния, возникает так называемое сейсмическое напряженное состояние, аналитическое выражение для которого впер-

вые в 50-х годах прошлого столетия обосновал грузинский ученый Ш. Г. Напетваридзе [1]. В местах контакта грунта с контуром тоннельной обделки при прохождении сейсмических волн возникает концентрация сейсмических напряжений, являющихся дополнительной сейсмической контактной нагрузкой.

Конструкция подземного сооружения, имеющая жесткость отличную от жесткости грунтового массива, искажает поле сейсмических волн, поэтому в грунте вокруг подземной выработки образуются зоны концентрации напряжений. Если конструкция имеет достаточную гибкость, то она будет следовать за смещениями и деформациями грунтового массива. Если же конструкция имеет жесткость большую, чем жесткость окружающего массива, то на границе с обделкой поле сейсмических волн претерпевает изменения, вызывая концентрацию напряжений в грунте вокруг обделки.

На основе этих положений в настоящее время разработаны методики расчета напряженного состояния тоннельных обделок различного очертания [2, 3].

Основные положения этих методик следующие.

Рассматриваются две плоские контактные задачи теории упругости для кольца, подкрепляющего вырез в упругой среде и работающего в условиях совместности перемещений, при следующих граничных условиях (рис. 1а, б): сейсмические волны предполагаются упругими, гармоническими с плоским фронтом распространения, либо нестандартными, но с незначительным отличием (по форме) реального импульса от синусоидального.

Плоский фронт волны является простейшим и поэтому широко используется для изучения распространения упругих волн в горных породах и массивах грунта. В этой связи более сложные формы волнового поля возможно и корректно представить математически в виде суперпозиций плоских волн, распространяющихся в разных направлениях.

Грунтовой массив принимают сплошным линейно деформированным, однородным, характеризующимся модулем деформации  $E_0$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ .

Решение первой задачи заключается в оценке напряженного состояния обделки от действия длинной волны сжатия, задаваемой на бесконечности напряжениями, причем ось  $ox$  наклонена под произвольным углом  $\alpha$ :

$$\sigma_{x^1}^{(x)} = -P; \quad \sigma_{y^1}^{(x)} = \xi P,$$

где

$$\xi = \frac{v_0}{1 - \nu_0}; \quad P = \frac{1}{2\pi} AK_1 \rho_0 c_1 T_0,$$

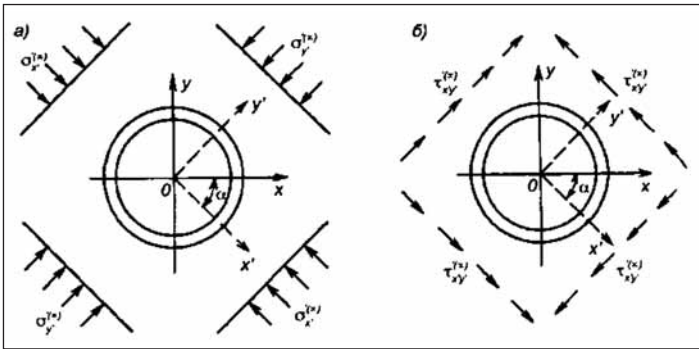


Рис. 1. Воздействие на тоннель произвольно направленных сейсмических волн сжатия-растяжения и сдвига

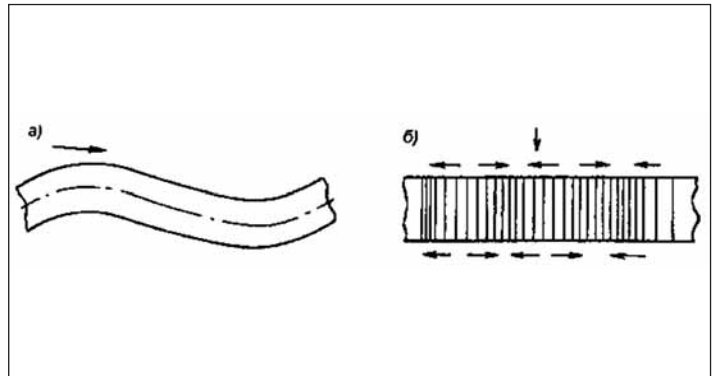


Рис. 2. Формы деформаций тоннельной трубы

здесь  $A$  – коэффициент, равный 0,1; 0,2; 0,4 соответственно для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов;

$\rho_0$  – плотность (объемная масса) грунта;

$K_0$  – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения, определяемый по табл. 3 СП 14.1333.2011[4];

$c_1$  – скорость продольных сейсмических волн в грунте;

$T_0$  – преобладающий период колебаний частиц грунта.

Решение второй задачи сводится к оценке напряженного состояния обделки от действия длинной волны сдвига, задаваемой на бесконечности касательными напряжениями

$$\tau_{x'x'}^{(x)} = -Q,$$

действующими под углом  $\alpha$  к оси  $ox$

$$Q = \frac{1}{2\pi} AK_1 \rho_0 c_2 T_0,$$

где  $c_2$  – скорость поперечных сейсмических волн в грунте.

Используя решение первой задачи, можно получить распределение напряжений в обделке и массиве при действии длинной волны растяжения (сжатия), из решения второй задачи определяются напряжения в обделке и грунтовом массиве при действии длинной волны сдвига.

Правильно судить о наиболее неблагоприятном напряженном состоянии обделки при сейсмических воздействиях можно лишь после определения нормальных тангенциальных напряжений, вызываемых волнами растяжения (сжатия) и сдвига, суммарным воздействием волн растяжения и сдвига, сжатия и сдвига и выбора из полученных значений максимального по абсолютной величине.

Если же фронт волн расположен в одной плоскости с продольной осью тоннеля, то последний будет совершать колебания вместе с массивом, поскольку в данном случае его длина соизмерима с длинами волн.

В качестве рабочей предложена гипотеза, что при колебаниях массива при действии землетрясения все деформации грунта будут передаваться сооружению. Основным условием работоспособности тоннельной обделки является требование, чтобы она выдерживала возможные деформации грунта (рис. 2).

Если направление фронта волн совпадает с осью тоннеля, то они создают сдвиговые си-

нусоидальные колебания тоннеля как трубы (рис. 2а) и вызывают деформации искривления. Если же фронт волн перпендикулярен к продольной оси конструкции, то вдоль продольной оси тоннеля возникают зоны сжатия-растяжения без искривления (рис. 2б).

Следовательно, необходимо оценить возможную максимальную суммарную деформацию и напряжения, ею вызываемые.

Теоретическое исследование такого взаимодействия подробно изложено в работе [5].

Алгоритмы расчета всех перечисленных схем взаимодействия сейсмических волн с тоннельной конструкцией для практического использования, в том числе для проектирования в анизотропных грунтах, для системы параллельных тоннелей и др., приведены в Руководстве по проектированию подземных сооружений в сейсмических районах [6].

Следующим этапом проектирования является конструирование обделок горных тоннелей и тоннелей метрополитена.

Обделка по длине тоннеля должна иметь единую и однородную по жесткости конструкцию. Частое изменение поперечного сечения тоннеля ухудшает его работу, так как в местах изменений сечения при землетрясениях наиболее вероятна концентрация напряжений. Поэтому для горных тоннелей рекомендуются конструкции из монолитного бетона, а для тоннелей метрополитена, сооружаемых открытым способом, – из монолитного железобетона. Такие конструкции предпочтительнее, чем обделки из сборных элементов.

В тоннелях с монолитными железобетонными перекрытиями эти мероприятия в основном сводятся к обеспечению надежной связи перекрытия с несущими стенами. При сборных перекрытиях, как правило, устройство в уровне перекрытий железобетонных продольных поясов, которые не только служат связующим звеном между стенами и перекрытием, но и способствуют превращению сборного перекрытия в жесткую горизонтальную диафрагму.

Целесообразно сооружать нижнюю сплошную железобетонную плиту, которая будет выполнять функции распределительной плиты и служить основанием тоннеля, обеспечивая совместную работу отдельных фундаментных элементов (блоков) обделки, распределяя сейсмические усилия по длине тоннеля.

Особое внимание следует уделять зонам пересечения трассой тоннеля тектонических разломов, особенно действующих, определенных изысканиями.

Поскольку невозможно создать конструкцию, которая останется в неизменном состоянии и в плане и профиле при сдвигании блоков горных пород по тектонической трещине, при проектировании целесообразно участки тоннеля по обе стороны разлома проектировать с определенным запасом по габаритам. В этом случае возможна корректировка оси трассы при смещении тоннеля по крыльям разлома, доходящим нередко до десятков сантиметров. Это позволит при ремонте тоннеля при землетрясениях с расчетной балльностью откорректировать положение габарита тоннеля. Примером такой конструкции является участок одного из тоннелей на трассе БАМ, пересекающего разлом (рис. 3).

Одним из важных условий обеспечения сейсмостойкости сооружений является соблюдение надлежащего качества выполнения строительно-монтажных работ.

Эффективность планировочных, конструктивных и расчетных антисейсмических мероприятий может быть сведена на нет некачественным выполнением работ и нарушением их эксплуатационного режима. Поэтому тоннели в сейсмических районах следует сооружать при особенно строгом соблюдении требований строительных норм и правил, инструкций и другой нормативной документации.

Проектирование и расчет конструкций транспортных тоннелей для сейсмических районов в значительной степени зависят от имеющейся исходной информации о динамических параметрах элементов тоннельных конструкций и окружающего грунтового массива. В расчетных моделях взаимодействия тоннеля с массивом грунта параметры движения грунтовой среды и динамические характеристики тоннельных конструкций определяют косвенным путем. В частности, скорость движения частиц грунта в массиве уточняют на основании лабораторных исследований образцов грунта, а количественные данные о смещениях и ускорениях – по данным сейсмологических наблюдений или, при их отсутствии, на основании ориентировочных справочных данных. Что же касается форм и периодов собственных колеба-

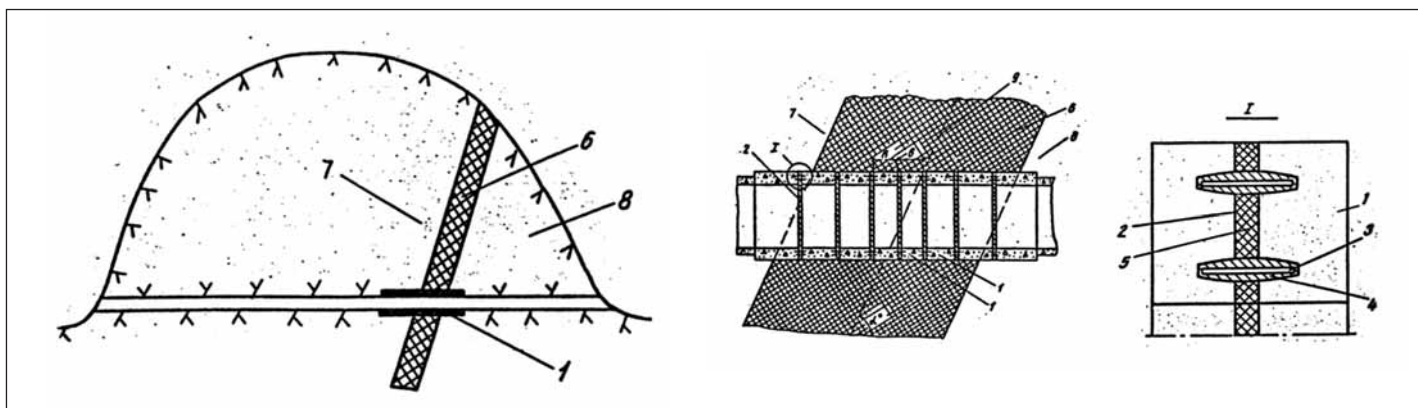


Рис. 3. Конструкция обделки в зоне тектонического разлома: 1 – кольца обделки; 2 – кольцевые швы; 3 – высокопрочные стержни; 4 – эластичные муфты; 5 – эластичная прокладка между кольцами; 6 – зона тектонического разрушения (разлом); 7, 8 – блоки массива у разлома; 9 – шов разлома

ний конструкций обделок, то определить их для подземных сооружений численными методами точно затруднительно, а нередко и невозможно, так как они в значительной степени зависят от присоединенной массы, которую точно невозможно определить.

Поэтому на тоннелях, эксплуатируемых в сейсмических районах, необходимо создавать инженерно-сейсмометрическую службу.

Основным назначением создания комплекса сооружений и оборудования инженерно-сейсмометрической службы (ИСС) на тоннелях является получение и накопление данных о поведении обделки и окружающего грунта при сейсмических воздействиях с целью:

- определения динамических характеристик колебаний элементов обделок для анализа работы обделки при землетрясении и уточнения нормативных положений расчета тоннелей на сейсмические воздействия;
- создания возможности предупреждения неблагоприятных вторичных катастрофических последствий землетрясений путем установки аппарата для автоматического срабатывания сигнальных систем, отключения источников электропитания и включения средств пожаротушения при задаваемых пороговых уровнях колебаний грунта.

Комплекс сооружений и оборудования каждой станции ИСС включает:

- основные измерительные пункты, в которых устанавливается сейсмометрическая

аппаратура, осуществляющая регистрацию колебаний в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Основные измерительные пункты размещаются на обделке тоннеля, на грунте рядом с обделкой и других выработках данного тоннеля (стволы, штольни);

- сооружения регистрационного комплекса, предназначенные для размещения регистрационной аппаратуры, осуществляющей прием сигналов от сейсмометрической аппаратуры, анализ и обработку записей колебаний [7] и выдающей информацию для длительного пользования и хранения;

- коммуникации между приборами и оборудованием измерительного и регистрационного комплекса;

- опорные измерительные пункты, которые располагаются вне тоннеля с целью регистрации подходящих к нему неискаженных сейсмических волн.

Количество опорных и основных пунктов измерений и их размещение определяется исходя из целей, поставленных перед инженерно-сейсмометрической службой, объемно-планировочного и конструктивного решения соответствующего тоннеля, экономических и других факторов.

Рассмотренные кратко в настоящей статье основные принципы проектирования транспортных тоннелей в сейсмических районах продемонстрированы в табл.

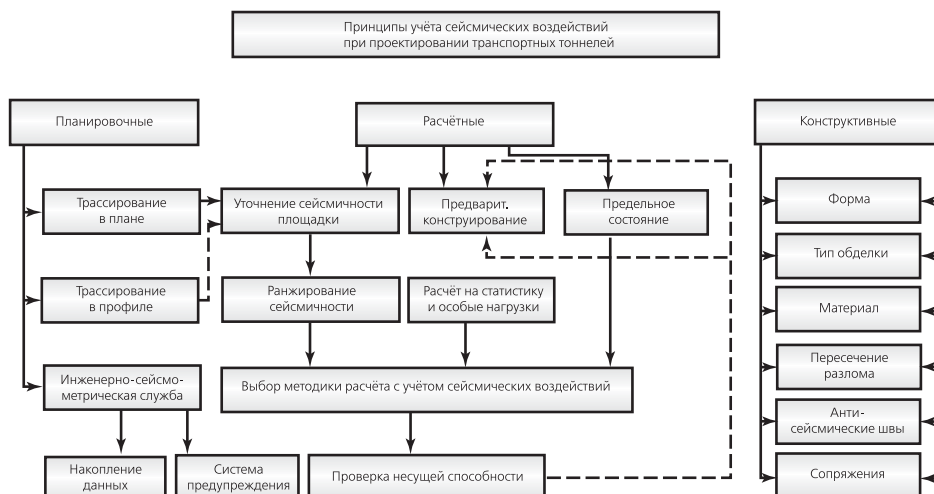
## Заключение

Рассмотренные принципы проектирования, нормативные требования, изложенные в Руководстве [6], и конкретные примеры запроектированных и осуществленных на практике сейсмостойких тоннельных обделок, приведенные в монографии [8], прошли проверку на многочисленных объектах, таких, как например, метрополитены Еревана, Алматы, горные тоннели БАМа, тоннели в районе Сочи и другие, а также использовались при проектировании горных тоннелей за рубежом.

Конечно, будут еще исследования, новые конструктивные разработки, но сегодня с определенным основанием можно констатировать, что отечественные наука и практика дали ответ на вопрос о том как надежно проектировать, строить и эксплуатировать транспортные тоннели в сейсмических районах.

## Список литературы

1. Напетваридзе Ш. Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. – М.: Госстройиздат, 1959. 216 с.
2. Фотиева Н. Н., Дорман И. Я. К вопросу расчета обделок некругового очертания на сейсмические воздействия. – Трансп. стр-во, 1976, № 9, с. 48–49.
3. Дорман И. Я. Сейсмостойкость транспортных тоннелей. М.: Транспорт, 1986. 175 с.
4. Свод правил СП 14.133330.2011. Строительство в сейсмических районах. Минрегион России, 2012.
5. Дорман И. Я. Исследование работы обделки при распространении сейсмических волн вдоль оси тоннеля: Межвузовский сб. науч. тр., вып. 726. МИИТ. – М.: 1983, с. 60–65.
6. Руководство по проектированию подземных сооружений в сейсмических районах. Инф.-изд. Центр «ТИМР» М. 1996. с. 106.
7. Мекли Р. Анализ и обработка записей колебаний. – М.: Машиностроение 1971. 270 с.
8. Дорман И. Я. Сейсмостойкость транспортных тоннелей. Издание второе дополненное и переработанное – М.: Инф.-изд. Центр «ТИМР», 2000 г. 308 с.



# С нами строить легко!

- Проектирование и строительство подземных частей технически сложных и уникальных объектов (подземные автостоянки, транспортные развязки, гидротехнические сооружения)
- Ограждение котлованов
- Закрепление грунтов
- Усиление фундаментов
- Выполнение работ на памятниках истории и архитектуры



г. Пермь. ул. Кронштадтская, 35  
тел./факс (342) 236-90-70  
тел. в Ижевске (3412) 56-62-11  
тел. в Краснодаре (861) 240-90-82  
тел. в Красноярске (391) 208-17-15  
тел. в Казани (843) 296-66-61

тел. в Москве (495) 643-78-54  
тел. в Самаре (846) 922-56-36  
тел. в Санкт-Петербурге (812) 923-48-15  
тел. в Тюмени (3452) 74-49-75  
тел. в Уфе (917) 378-07-48  
тел. в Челябинске (351) 235-97-98

[www.new-ground.ru](http://www.new-ground.ru), [info@new-ground.ru](mailto:info@new-ground.ru)

# ИНТЕРЕСНАЯ СТАТИСТИКА ПО ТРАНСПОРТНЫМ ТОННЕЛЯМ И МЕТРОПОЛИТЕНАМ

В. А. Гарбер, д. т. н., НИЦ «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС

**В последние годы возрос интерес отечественных специалистов–тоннельщиков к мировому опыту проектирования, строительства и эксплуатации транспортных подземных сооружений. Появилось много публикаций. Ниже приведены данные, которые могут быть полезны для специалистов, работающих в области транспортного тоннеле– и метростроения.**

## Самые длинные эксплуатируемые железнодорожные тоннели в мире

В табл. 1 приведены данные по эксплуатируемым тоннелям длиной более 13 км. Указаны местоположение, длина и годы строи-

тельства (или ввода в эксплуатацию).

Всего зафиксировано 40 сверхдлинных тоннелей. Из них в России всего один: Северомуйский тоннель БАМ длиной 15,3 км, введенный в эксплуатацию в 2001 г.

Несомненным лидером по строительству сверхдлинных тоннелей является Япония (11 тоннелей), на втором месте Италия (8 тоннелей), на третьем месте Швейцария (6 тоннелей).

Таблица 1

Название	Местоположение	Длина, м	Год	Примечание
1. Тоннель Сэйкан	Сангарский пролив, Япония	53 850	1988	Самый длинный железнодорожный тоннель; поперечное сечение 74 м <sup>2</sup> ; в тоннеле есть две подземные станции
2. Евротоннель	Ла-Манш, Великобритания/Франция	50 450	1994	Самый длинный подводный сегмент, самый длинный международный тоннель, второй по длине железнодорожный тоннель (2×45 м <sup>2</sup> + 1×18 м <sup>2</sup> )
3. Базисный тоннель Лёчберг	Бернские Альпы, Швейцария	34 577	2007	Самый длинный наземный железнодорожный тоннель; западная недостроенная труба 27,2 км
4. Тоннель Гуадаррама	Сьерра-де-Гуадаррама, Испания	28 377	2007	
5. Тоннель Тайханшань, Китай	Тайханшань, Китай	27 848	2008	На железной дороге Шицзячжуан – Тайюань
6. Тоннель Хаккода (Тохокусинкансэн)	Горы Хаккода, Япония	26455	2010	Поперечное сечение 64–74 м <sup>2</sup>
7. Тоннель Иватэ-тинохэ	Горный хребет Оу, Япония	25 810	2002	
8. Винервальдский тоннель	Запад Вены, Австрия	23 844	2012	Самый длинный тоннель Австрии
9. Тоннель Дайсмизу	Гора Танигава, Япония	22 221	1982	
10. Тоннель Ушаолин	Увэй, Китай	21 050	2006	Второй тоннель открыт в 2007 г.
11. Тоннель Гумзангл	Пусан, Южная Корея	20 323	2010	Скоростная линия Генгбу
12. Симплонский тоннель	Лепонтинские Альпы, Швейцария/Италия	19 803	1906	Тоннель обратного направления открыт в 1922 г. (длиной 19 824 м); до 1978 г. самый длинный железнодорожный тоннель мира
13. Тоннель Верина	Сильвретские Альпы, Швейцария	19 058	1999	Однопутный с разъездами; колея 1000 мм
14. Шин Каммон	Пролив Каммон, Япония	18 713	1975	
15. Валья	Болонья – Флоренция, Италия	18 711	2009	Скоростная линия Болонья – Флоренция
16. Аппенинский базисный тоннель	Аппенинские горы, Италия	18 507	1934	
17. Циньлин I–II	Циньлин, Китай	18 457	2002	Двухколейный путь
18. Тоннель Хендерсон	Передовой хребет, США	15 800	1976	Узкоколейная железная дорога, заменённая ленточным конвейером в 1999 г. Только один вход (служил как подземный рудник)
19. Базисный тоннель Фурка	Урнерские Альпы, Швейцария	15 442	1982	Однотрассовая дорога с разъездами; колея 1000 мм
20. Харуна	Префектура Гумма, Япония	15 350	1982	
21. Северомуйский тоннель	Северо-Муйский хребет, Россия	15 343	2001	Постоянная эксплуатация с декабря 2003 г.
22. Фиренцуола	Болонья – Фиренцуола, Италия	15 285	2009	Скоростная линия Болонья – Флоренция
23. Тоннель Горигамине	Такасаки – Нагано, Япония	15 175	1997	
24. Марко Монте Санто-Марко	Паола – Козенца, Италия	15 040	1987	
25. Готардский железнодорожный тоннель	Лепонтинские Альпы, Швейцария	15 003	1882	До 1905 г. самый длинный тоннель в мире
26. Накаяма	Хребет Накаяма, Хонсю,	14 857	1882	

Продолжение табл. 1

27. Кьяоне эль Саргенто	Ило-Токуипала/Кьяоне Промышленная железная дорога Кьяоне-Корпорация Southern Peru Copper, Перу	14 724	1975	
28. Тоннель Монт Макдональд	Перевал Роджер Национальный парк Глейшер, Канада	14 723	1989	
29. Тоннель Лёчберг	Швейцарские Альпы, Швейцария	14 612	1913	
30. Тоннель Ромерико	Осло – Лиллестрём, Норвегия	14 580	1999	
31. Даяшан	Горы Нанлин, Китай	14 294	1987	
32. Тоннель Хокуруку	Гора Киноме, Япония	13 870	1962	
33. Фрежу (Мон-Сенис)	Альпы, Франция/Италия	13 636	1871	До 1882 г. самый длинный тоннель в мире
34. Тоннель Шимизу	Гора Танигава, Япония	13 500	1967	
35. Железнодорожный тоннель Савио	Хельсинки – Керава, Финляндия	13 500	2008	
36. Тоннель ХексРивер	Перевал Хекс Ривер ЮАР	13 400	1989	
37. Тоннель Вонхе	Ульсан, Южная Корея	13 270	2010	Скоростная линия Генгбу
38. Тоннель Склерно	Южный Тироль, Италия	13 159	1993	
39. Железная дорога Генуя – Вентимилья	Генуя – Вентимилья, Италия	13 135		В тоннеле есть подземная станция («Сан-Ремо»)
40. Аки	Санъё-синкансэн, Япония	13 030	1975	

### Самые длинные (более 13 км) эксплуатируемые автодорожные тоннели

Таких тоннелей в мире всего пять (табл. 2). Как видим, в России нет сверхдлинных автодорожных тоннелей.

Таблица 2

Название	Местоположение	Длина, м	Год	Примечание
1. Чжуннаньшань	Китай	18 040	2007	Самый длинный автомобильный тоннель в Китае
2. Лердальский тоннель	Лердал-Эурланн, Норвегия	24 510	2000	Самый длинный автодорожный тоннель в мире
3. Готардский автомобильный тоннель	Лепонтинские Альпы, Швейцария	16 918	1980	
4. Автомобильный тоннель Арльберг	Арльберг, Австрия	13 972	1978	
5. Тоннель Сиэшан	Тайбэй-Иилань, Тайвань	12 942	2006	Почти 13 км

### Самые длинные (более 13 км) эксплуатируемые линии метрополитена

В табл. 3 приведены данные по сверхдлинным линиям метрополитена. При этом, несмотря на то, что перегонные тоннели разделяют-

ся станциями, считается общая длина линий.

Из таблицы видно, что всего в мире зафиксировано 33 сверхдлинных линий метрополитена (более 13 км).

Из них в Испании – 10 линий, в России – 6, в

Японии – 3, в Канаде и на Украине – по 2 линии.

В остальных странах: Англии, Португалии, Швеции, Белоруссии, Индии, Греции, Германии, Польше, Южной Кореи – по 1 сверхдлинной линии метрополитена.

Таблица 3

Название	Местоположение	Длина, м	Год	Примечание
1. Морден – Ист Финчли (Северная линия)	Лондонский метрополитен	27800	1890–1940	
2. Дайнити – Нагахара (линия Танимати)	Осакий метрополитен, Япония	27100	1967–1983	
3. Линия 1 Барселонского метрополитена	Барселона, Испания	20 700	1926–1992	
4. Кольцевая линия Московского метрополитена	Московский метрополитен, Россия	19 400	1950–1954	
5. Лиссабонский метрополитен – Синяя (Сигал) линия	Лиссабон, Португалия	14 000	1959–2007	
6. Тоннельбана 3 (синяя линия), Кунгстрэдгорден – Хьюлста	Стокгольм, Швеция	14 300	1975–1977	
8. Линия 7 Мадридского метрополитена	Минский метрополитен, Белоруссия	18 100	1990–2005	Самый длинный тоннель в Белоруссии
9. Желтая линия метрополитена Дели: ГТБ Нагар – Катуб Минар	Мадрид, Испания	32 919	1974–2007	
10. Линия 1 Мадридского метрополитена Вальдекаррос – Пинар-де Чамартин	Дели, Индия	24 000	2004–2014	Самый длинный тоннель в Индии

Продолжение табл. 3

11. Линия 2 Барселонского метрополитена	Барселона, Испания	13 100	1985–1997	
12. «Зябликово» – «Марьино Роща» (линия 10)	Московский метрополитен, Россия	28 200	1995–2011	
13. Святошинско-Броварская линия	Киевский метрополитен, Украина	22 700	1960	Самый длинный тоннель Украины
14. Канаяма – Нагоя Канауата (Линия Мэйдзэ)	Метрополитен Нагоя, Япония	26 400	1965–2004	
15. Холодногорско-Заводская линия	Харьковский метрополитен, Украина	17 300	1975	
16. Линия 4 Барселонского метрополитена	Барселона, Испания	16 700	1929–1999	
17. Линия 3 Барселонского метрополитена	Барселона, Испания	16 600	1924–2001	
18. Линия 4 Барселонского метрополитена	Барселона, Испания	16 600	1959–1983	
19. Линия 8 (Мадридский метрополитен) Ньюосминистереус – Аэропорт	Мадрид, Испания	16 467	1998–2007	
20. Линия 3 (Мадридский метрополитен) Монклоа – Вильяверде	Мадрид, Испания	16 424	1939–2007	
21. Линия 3 Афинского метрополитена	Афины, Греция	16 400	1991–2008	Общая длина линии 3 составляет 39,6 км
22. Ратхаус Шпандау Рудов	Берлинский метрополитен, Германия	31 800	1984	
23. Коте-Верту – Монморанси (Линия 2 Оранж)	Монреальский метрополитен, Канада	30 798	1966–2007	Самый длинный тоннель в Канаде
24. «Парнас» – «Купчино» (линия 2)	Петербургский метрополитен, Россия	30 100	1961–2006	
25. «Проспект Ветеранов» – «Девяткино» (линия 1)	Петербургский метрополитен, Россия	29 600	1955–1978	
26. Линия 6 Мадридского метрополитена. Кольцевая линия	Мадрид, Испания	23 472	1979–2007	
27. Ангриггон – Оноре-Беаграунд (Линия 1 Грин)	Монреальский метрополитен, Канада	23 262	1966–2007	
28. Линия 1 Варшавского метрополитена: Кабаты – Млоцины	Варшава, Польша	23 100	1983–2008	Самый длинный тоннель в Польше
29. Сеульский метрополитен: Линия 5	Сеул, Южная Корея	47 600	15.11.1995	Самый длинный тоннель метрополитена
30. «Пятницкое шоссе» – «Щелковская» (Арбатско-Покровская линия)	Московский метрополитен, Россия	45 100	1953–2012	Самый длинный тоннель в России
31. Линия 12 Мадридского метрополитена (MetroSur)	Мадрид, Испания	40 960	1999–2003	Самый длинный тоннель в Испании
32. Тотэмаэ-Сиодомэ-Хикаригаока (Линия Оэдо)	Токио, Япония	40 700	1991–2000	Самый длинный тоннель метрополитена в Японии
33. «Медведково» – «Новоясеневская» (линия б)	Московский метрополитен, Россия	37 600	1958–1990	

### Самые длинные (более 13 км) в мире строящиеся железнодорожные тоннели

В табл. 4 приведены сверхдлинные железнодорожные строящиеся тоннели.

Автодорожные сверхдлинные тоннели в настоящее время не строятся.

Всего таких тоннелей 9, из них в Швейцарии – 2, в Китае – 2, в Австрии, Испании,

Японии, Турции и Южной Корее – по 1.

В России сверхдлинные железнодорожные тоннели в настоящее время не строятся.

Таблица 4

Название	Местоположение	Длина, м	Год	Примечание
1. Готардский базисный тоннель	Лепонтинские Альпы, Швейцария	57 091	2017	Участок новой Готардской железной дороги; после завершения строительства станет самым длинным железнодорожным тоннелем в мире (работы проводятся с 15 октября 2010 г.). Два тоннеля (Восточный 57091, Западный 56978), диаметр 8,8–9,5 м
2. Тоннель Гаолигуншань	Юньнань, Китай	39 600	2017	Железная дорога между Дали и Руили
3. Тоннель Коральм	Коральпе, Австрия	32 900	2020	Бурение основного тоннеля началось с западной стороны в мае 2010 г.
4. Новый тоннель Гуань Цзяо	Цинхай, Китай	32 645	2013	Самый длинный тоннель на обновляемом двухпутном участке Синин – Голмуд Цинцзанской железной дороги
5. Базисный тоннель Пахарес	Астурия, Испания	24 648	2016	
6. Тоннель Иияма	Иияма, Япония	22 225	2015	Строительство выполняется для Хокурукусинкансэнэ, работы ведутся с 2007 г.
7. Тоннель Солан	Dongbaeksan-Dongye, Канвондо, Линия Тхэбэк, Южная Корея	16 240	2012	Включает в себя спираль; работы ведутся с 7 декабря 2006 г.



Продолжение табл. 4

8. Базисный тоннель Сенери	Лепонтинские Альпы, Швейцария	15 400	2019	Участок новой Готардской железной дороги
9. Мармарай	Стамбул, Турция	13 600	2013	Строительство введется в зоне стыка двух континентальных плит; работы начались 23 сентября 2008 г.

**Самые длинные в мире проектируемые транспортные тоннели**

В табл. 5 приведены шесть сверхдлинных (более 13 км) проектируемых в настоящее время транспортных тоннелей: четыре железнодорожных и два автомобильных.

Два железнодорожных тоннеля соединят Италию с Австрией и Францией. По одному железнодорожному тоннелю проектируется в Южной Корее и в Норвегии. Один автодорожный тоннель соединит Германию с Данией и один автодорожный

тоннель проектируется в Швеции.

В России в настоящее время сверхдлинные транспортные тоннели не проектируются.

В таблице указаны предполагаемые годы строительства тоннелей (или ввода в эксплуатацию).

Таблица 5

Название	Местоположение	Длина, м	Тип	Год	Примечание
1. Базисный тоннель Бреннер	Штубайские Альпы, Австрия – Италия	55 000	Железная дорога	2025	Начато строительство пилот-тоннелей
2. Базисный тоннель Мон-Де-Амбин	Котские Альпы, Франция – Италия	52 000	Железная дорога	2020-2023	Начато строительство шахт
3. Тоннель Мусил	Ульсан, Южная Корея	25 080	Железная дорога	2018	Стадия планирования, на линии Чуньансон работы планируется начать в июне 2011 г.
4. Линия Фолло	Осло, Норвегия	19 00	Железная дорога	2021	
5. Тоннель Фемарн-Бельт	Германия – Дания	17 600	Автомобильная и железная дорога	2020	Начало работ запланировано на 2014 г.
6. Форбифат Стокгольм	Стокгольм. Швеция	16 000	Автомобильная дорога	2020	Строительство ещё не начато

**Самые глубокие метрополитены в мире**

Самое глубокое метро в мире расположено в городе Пхеньян. Его глубина достигает 120 м. Строительство было завершено еще в 1975 г. Такая глубина предполагала использование городского метрополитена в качестве бомбоубежища.

Пхеньянское метро состоит из двух линий, первая была построена в 1973 г., вторая – сдана в 1975 г. Каждый состав поезда состоит из четырех вагонов, длина каждого вагона 20 м, длина платформы станции 80 м.

Второе место в списке самого глубокого метро в мире занимает станция метро «Арсенальная» Киевского метрополитена. Ее глубина составляет 105 м. Станция была открыта 6.11.1960 г., каждый день ее посещают более 25 тыс. человек.

В отделке Киевского метро был использован алюминий, выполненный под бронзу, а также применен розовый и белый мрамор.

Третье место в списке самого глубокого метро в мире занимает станция «Адмиралтейская» Петербургского метрополитена. Ее глубина составляет 90 м и для того, чтобы спуститься на самую глубину, необходимо сменить два эскалатора. Станция расположена на такой глубине из-за геологических условий, которые не позволили построить станцию выше. Стоимость строительства оказалась выше, чем стоимость строительства менее глубоких станций: как известно, чем глубже, тем дороже.

«Адмиралтейская» является 65 станцией городского метрополитена. Ее открытие состоялось 28.12.2011 г. Внешнее оформление станции выполнено в морской тематике.



Станция Пхеньянского метрополитена



Станция «Арсенальная» Киевского метрополитена



Станция «Адмиралтейская» Санкт-Петербургского метрополитена

### Стоимость строительства транспортных тоннелей большого диаметра

В табл. 6 приведены данные по стоимости строительства транспортных тоннелей боль-

шого диаметра (в основном, диаметром больше 13 м) по состоянию на ноябрь 2008 г.

В таблице приведена информация о месте строительства (страна, город), длине тоннеля,

его диаметре, стоимости строительства 1 км тоннеля в долларах США, а также данные об инженерно-геологических условиях строительства.

Таблица 6

Место строительства	Длина тоннеля, км	Диаметр тоннеля, м	Стоимость, млн долл. США/1 км	Грунт
1. Шанхай, Китай	7,403	15,426	16,875	Пески, глины, включения булыжника
2. Мадрид, Испания	5,874	15,240	81,402	Мергелистые глины, гипсы
3. Москва, РФ (Лефортовский тоннель)	2,092	14,204	272,789 (2 тоннеля)	Пески, глины, известняки
4. Москва, РФ (Серебряный Бор)	1,400	14,204	56,400 (сметная стоимость)	Пески, глины, известняки
5. Тоннель под Эльбой, Германия	2,575	14,173	188,281	Пески, илы, скальная порода, галька, валунные глины
6. Куала-Лумпур, Малайзия	2,993	13,198	52,818	Данные отсутствуют
7. Кляйнензиль, Германия	1,6093	11,674	111,850	Глины, пески, мергель, илы
8. Тернёзен, Нидерланды	6,598	11,278	37,283	Текучепластичные грунты
9. Париж, Франция	9,978	10,363	150,376	Известняки, пески, глины, мергели, мелы
10. Санкт-Петербург, РФ (Орловский тоннель под Невой (проект))	1,6	19,0 (ориентировочно)	44,389	Водонасыщенные неустойчивые грунты

### Стоимость строительства метрополитенов мира

В табл. 7 приведена стоимость строительства 1 км метрополитена в долларах США в 15 развитых странах по 26 объектам строительства.

Таблица 7

Город	Стоимость, млн долл. США/1 км	Город	Стоимость, млн долл. США/1 км	Город	Стоимость, млн долл. США/1 км	Город	Стоимость, млн долл. США/1 км
1. Нью-Йорк	4000,00	8. Токио	350,00	14. Барселона	170,00	21. Нью-Йорк (central Subway)	500,00
2. Нью-Йорк	1700,00	9. Токио	280,00	15. Цюрих	140,00	22. Монреаль	150,00
3. Нью-Йорк	1300,00	10. Берлин	250,00	16. Неаполь	130,00	23. Мадрид	61,00
4. Лондон	1000,00	11. Париж	230,00	17. Милан	110,00	24. Санкт-Петербург (Россия)	180,00–190,00
5. Сан-Франциско	500,00	12. Сингапур	170,00	18. Сеул	110,00	25. Бостон	1500,00
6. Лондон	450,00	13. Копенгаген	170,00	19. Барселона	40,00	26. Китай	100,0–200,0
7. Амстердам	410,00			20. Москва	150,00–330,00 (до 2010 г.)		

### Стоимость строительства станционных комплексов метрополитена

В табл. 8 приведены данные по стоимости строительства станционных комплексов метрополитена в СССР и России за период с 1936 г. по настоящее время. В таблице даётся название станции, тип станции, город и год строительства. Стоимость строительства

приведена в ценах определенного года.

По данной таблице трудно сопоставить стоимость строительства различных станционных комплексов, так как за это время прошло пять денежных реформ в СССР и России, а именно:

1947 г. – 10 старых рублей меняли на 1 новый рубль;

1964 г. – деньги подорожали в 10 раз;

1991 г. (Павловские реформы) – денежные купюры новые, а их стоимость старая;

1993 г. – обмен старых купюр на новые того же номинала;

1998 г. (деноминация) – 1 новый рубль = = 1000 старых рублей.

Таблица 8

Название станции	Тип станции	Город, годы строительства (очередь строительства)	Стоимость, млн р.	Примечание
«Динамо»	Пилонная с чугунной обделкой	Москва 1936–1938 (2-я очередь)	6,3	В ценах до реформы 1947 г.
«Новокузнецкая»	Пилонная с чугунной обделкой	Москва 1938–1944 (3-я очередь)	56,0	В ценах до реформы 1947 г.
«Электрозаводская»	Пилонная с чугунной обделкой	Москва 1938–1944 (3-я очередь)	66,0	В ценах до реформы 1947 г.
«Таганская» Кольцевая	Пилонная с чугунной обделкой	Москва 1944–1952 (4-я очередь)	58,2	В ценах 1947 г.

Продолжение табл. 8

Название станции	Тип станции	Город, годы строительства (очередь строительства)	Стоимость, млн р.	Примечание
«Краснопресненская» Кольцевая	Пилонная с чугунной обделкой	Москва 1944–1952 (4-я очередь)	50,5	В ценах 1947 г.
Станция 5-й очереди	Пилонная с чугунной обделкой	Москва 1953–1960 (5-я очередь)	47,1	В ценах 1947 г.
Станция 6-й очереди	Пилонная с чугунной обделкой	Москва 1961–1990 (6-я, 7-я, 8-я очереди)	54,4	В ценах 1961 г.
Станции в метрополитенах других городов России	Пилонная с чугунной обделкой (длиной 120 м)	Другие города СССР	40,7	В ценах 1961 г.
Станции в метрополитенах других городов России	Пилонная с чугунной обделкой (длиной 100 м)	Другие города СССР	33,9	В ценах 1961 г.
Станция закрытого способа работ с островной платформой (без боковых посадочных платформ)	Одноводчатая станция глубокого заложения	Москва, Екатеринбург	24,7	В ценах 1961 г.
Станции закрытого способа работ индивидуального типа	«Маяковская» колонного типа	Москва 1938–1944	50,1	В ценах до реформы 1947 г.
Станции закрытого способа работ индивидуального типа	«Комсомольская» Кольцевая колонного типа	Москва 1953–1960	59,9	В ценах 1947 г.
Станции закрытого способа работ индивидуального типа	«Курская» Кольцевая колонного типа	Москва 1953–1960	54,6	В ценах 1947 г.
Станции закрытого способа работ индивидуального типа	«Киевская» Кольцевая колонного типа	Москва 1953–1960	45,2	В ценах 1947 г.
«Аэропорт»	Одноводчатая, открытого способа работ	Москва 1936–1938	13,4	В ценах до реформы 1947 г.
«Киевская» Филевской линии	Колонная, открытого способа работ	Москва 1936–1938	11,4	В ценах до реформы 1947 г.
«Автозаводская»	Двухпролетная колонная, открытого способа работ	Москва 1938–1944	12,9	В ценах до реформы 1947 г.
«Измайловская»	Колонная, открытого способа работ	Москва 1938–1944	28,1	В ценах до реформы 1947 г.
Станции открытого способа работ	Колонные	Москва 1944–1960	16,1	В ценах 1947 г.
Станции открытого способа работ в других городах России	Колонная, длиной 120 м	После 1960 г.	13,5	В ценах 1961 г.
Станции открытого способа работ в других городах России	Колонная, длиной 100 м	После 1960 г.	12,1	В ценах 1961 г.
Наземные станции	Станция с боковыми платформами	Москва	2,61	В ценах 1961 г.
Наземные станции	Станция с островной платформой	Москва и другие города России	2,71	В ценах 1961 г.

### Кто строит Московский метрополитен

По опубликованным данным Департамента строительства Московского правительства в 2013 г. на строительстве метрополитена освоено 78,94 млрд р.

Этот объем (в финансовом выражении) распределен между 10 организациями в следующих пропорциях: ОАО «Мосметрострой» – 25 %; ЗАО «Ингеоком» – 17 %; ОАО «Трансинж-

строй» – 16 %; УСК «Мост» – 9 %; Казметрострой – 7 %; ОАО «Трест Мосэлектротрагстрой» – 3 %; ОАО «Инжстройпроект» – 2 %; «Компания-Строй» – 2 %; ГУП «Трест «Мосотделстрой» – 11 %.

### Стоимость строительства Московского метрополитена

Правительство Москвы потребовало снизить цены на строительство метро и доведе-

ти стоимость строительства линий глубокого заложения не более 6–7 млрд р./1 км, а линий мелкого заложения – не более 4,5 млрд р./1 км.

Приведем опубликованные в открытой печати данные о фактической стоимости строительства некоторых участков линии Московского метрополитена (табл. 9). Курс доллара принят около 33 р./доллар США.

Таблица 9

Участок строительства	Линия	Длина участка, км	Стоимость (общая), млрд р.	Стоимость 1 км	
				Млрд р.	Млрд долл. США
1. «Улица Новаторов» – поселок «Коммунарка» (мелкое заложение)	Новая Москва	15,6	60,0	3,846	0,117
2. «Беломорская» – «Улица Дыбенко» (мелкое заложение)	Замоскворецкая	2,7	10,5	3,889	0,118
3. «Выхино» – «Котельники» (мелкое заложение) – закрытый способ	Таганско-Краснопресненская	6,6	31,7	4,803	0,146
4. «Авиамоторная» – «Новогиреево» (глубокое заложение)	Кожуховская	16,7	80,0	4,790	0,145
5. «Нижняя Масловка» – «Деловой центр» (глубокое заложение)	Третий пересадочный контур	11,7	82,0	7,01	0,212
6. «Третьяковская» – «Деловой центр» (глубокое заложение)	Калининско-Солнцевская	5,1	49,0	9,608	0,291

Если сравнивать данные табл. 7 и 9, то можно увидеть, что стоимость строительства 1 км линии Московского метрополитена в настоящее время находится на

уровне строительства метрополитенов Милана (Италия), Сеула (Южная Корея), Цюриха (Швейцария), Парижа (Франция) и Токио (Япония).

Самое дорогое строительство метро осуществляется в США (Нью-Йорк), Англии (Лондон), Нидерландах (Амстердам).



# CCT

СПЕЦИАЛЬНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА



(495) 226-18-37

(342) 219-61-56

info@cct-drill.ru

[WWW.CCT-DRILL.RU](http://WWW.CCT-DRILL.RU)



## FIGARO MASCHINE 400T

БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА