

## Учредители журнала

Тоннельная ассоциация России  
Московский метрополитен  
Московский метрострой  
Мосинжстрой  
Трансинжстрой

## Редакционный совет

### Председатель совета

А. Н. Левченко

### Почётный член совета

С. Н. Власов

### Заместитель председателя

И. С. Беседин

### Члены совета:

В. П. Абрамчук, В. Н. Александров,  
В. А. Гарюгин, В. В. Гридасов,  
С. Г. Елгаев, А. М. Земельман,  
Б. А. Картозия, В. Г. Лернер,  
М. М. Рахимов, Г. И. Рязанцев,  
Г. Я. Штерн

## Редакционная коллегия:

С. А. Алпатов, Н. С. Булычев,  
О. В. Егоров, А. А. Гончаров,  
А. И. Долгов, А. В. Ершов,  
М. Г. Зерцалов, Н. И. Кулагин,  
Е. Н. Курбацкий, Г. Н. Матюхин,  
В. Е. Меркин, А. Ю. Педчик,  
Г. Н. Полянкин, П. В. Пуголовков,  
А. Ю. Старков, Б. И. Федунец,  
Ш. К. Эфендиев

## Главный редактор

Г. М. Синицкий

## Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172  
факс: (495) 607-3276  
www.tar-rus.ru  
e-mail: rus\_tunnel@mtu-net.ru

## Издатель

### ООО «Метро и тоннели»

тел.: (499) 267-3514, 267-3425  
факс: (499) 265-7951  
107078, Москва,  
Новорязанская, 16,  
подъезд 5, оф. 20  
e-mail: metrotunnels@gmail.com

## Генеральный директор

О. С. Власов

## Редактор

Г. М. Сандул

## 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», 2011

## № 3 2011

### В Тоннельной ассоциации России

2

#### Отчётная конференция ТА России

В. В. Внутских

### Выставки и конференции

#### IV Международная специализированная выставка по проектированию, строительству и эксплуатации тоннелей «Интертоннель 2011»

6

### Современные технологии

#### Применение инновационных разработок при строительстве тоннелей в сложных градостроительных и инженерно-геологических условиях

8

А. В. Черняков

### Конструкции тоннельных обделок

#### Проблемы строительства тоннелей в Южном регионе

14

А. В. Алексеев

#### О комбинированных обделках транспортных тоннелей из набрызг-бетона с напыляемой гидроизоляцией

16

В. Е. Меркин

#### Повышение огнестойкости железобетонных конструкций в тоннельных сооружениях

18

С. Ю. Шибяев

#### Еще раз о применении набрызг-бетона и Новоавстрийского метода (НАТМ) в отечественном тоннелестроении

20

Д. М. Голицынский

### Новая техника

#### Прогрессивные конструкции и технологии производства форсунок для струйных мониторов

24

А. П. Вакутин, А. Г. Малинин,

А. Н. Смирнов, Д. А. Малинин

### Метрополитены

#### Новые решения проблемы вибраций в метрополитенах

28

Б. В. Наумов

### Подводные тоннели

#### Варианты строительства подводного совмещенного тоннеля под р. Лена в районе г. Якутска

32

В. Н. Панафидин, Г. Н. Полянкин, А. В. Яковлев

### Мониторинг подземных сооружений

#### Опыт геофизического мониторинга состояния гидротехнических сооружений и тоннелей в скальном массиве

34

Н. Н. Абрамов, Ю. А. Епимахов

### Подземное пространство

#### История освоения подземного пространства в Грузии

38

Г. П. Бокучава, Т. К. Чурадзе,

К. А. Мчедlishvili, П. Б. Гамкrelidze

# СОДЕРЖАНИЕ



## ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Строительство однопутного  
железнодорожного  
тоннеля Gevingas  
в Норвегии  
(читайте на с. 16)

# ОТЧЕТНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ТА РОССИИ

**В. В. Внутских**, ученый секретарь ТАР

**В** Москве 5 апреля 2011 г. прошла конференция Тоннельной ассоциации России. На ней присутствовали 80 делегатов из строительных, проектных и научных организаций различных регионов России.

Основные пункты повестки дня конференции следующие.

1. Утверждение состава правления Тоннельной ассоциации России.

2. Утверждение состава президиума правления ТАР.

3. Отчет руководителей региональных отделений ТАР о проделанной работе в 2010 г., перспективах на 2011 г., предложениях по совершенствованию работы ТАР.

4. Отчет руководителей рабочих групп правления ТАР о проделанной работе в 2010 г.

5. Отчет Ревизионной комиссии о работе ТАР за 2010 г.

6. Программа работы Тоннельной ассоциации России на 2011 г. Бюджет организации на 2011 г.

7. Об участии членов ТАР в разработке и актуализации нормативно-технической документации в области проектирования и строительства тоннелей и подземных сооружений.

8. О журнале «Метро и тоннели».

9. Об организации ежегодного конкурса ТАР на звание «Лучшие инженерные решения года в области проектирования и стро-

ительства тоннелей и метрополитенов».

С приветственным словом к участникам конференции обратился председатель правления Тоннельной ассоциации России А. Н. Левченко.

Об обновленном составе правления Тоннельной ассоциации России доложил первый заместитель председателя правления ТАР Г. М. Синицкий. Он предложил состав правления ТАР с учетом введения в него дополнительно представителей ОАО «РЖД», ГУП «Московский метрополитен».

В состав президиума правления ТАР с учетом введения в него дополнительно представителя ГУП «Московский метрополитен» избраны следующие.

## Правление Тоннельной ассоциации России

№№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Организация, должность
1.	ЛЕВЧЕНКО Александр Николаевич	Председатель правления ТА России
2.	СИНИЦКИЙ Георгий Маркович	Первый заместитель председателя правления Тоннельной ассоциации России – руководитель Исполнительной дирекции
<b>Заместители председателя правления</b>		
3.	АБРАМСОН Валерий Михайлович	Председатель Совета директоров ЗАО «Инфраструктура»
4.	АБРАМЧУК Владимир Павлович	Начальник ФГУП «Управление строительства № 30»
5.	АЛЕКСАНДРОВ Вадим Николаевич	Генеральный директор ОАО «Метрострой» Санкт-Петербург
6.	БЕЛЕНЬКИЙ Михаил Юрьевич	Заместитель генерального директора ОАО «Бамтоннельстрой»
7.	КОРЧАК Андрей Владимирович	Ректор Московского государственного горного университета
8.	КРОХАЛЕВ Борис Григорьевич	Заместитель руководителя Исполнительной дирекции ТАР
9.	ЛЕРНЕР Валентин Григорьевич	Первый заместитель генерального директора Московской инженерно-строительной компании
10.	ШЕРМАН Михаил Макарович	Генеральный директор ЗАО «Союзгидроспецстрой»
11.	ШТЕРН Геннадий Яковлевич	Председатель Совета директоров ОАО «Мосметрострой»
<b>Члены правления</b>		
12.	АЛЕКСАНДРОВ Анатолий Васильевич	Начальник ФГУП «УВГСЧ в строительстве»
13.	АЛПАТОВ Сергей Николаевич	Генеральный директор СРО НП «Объединение подземных строителей»
14.	БОГОМОЛОВА Ольга Витальевна	Вице-президент НПО «Космос»
15.	БУЛЫЧЕВ Николай Спиридонович	Заведующий кафедрой Тульского государственного политехнического университета
16.	БЫЧКОВ Николай Николаевич	Заместитель главного инженера ОАО «Трансинжстрой»
17.	ВНУТСКИХ Владимир Валентинович	Ученый секретарь правления ТАР
18.	ГОНЧАРОВ Анатолий Алексеевич	Главный инженер ОАО «Трансинжстрой»
19.	ГОРХ Любовь Ивановна	Заместитель руководителя Исполнительной дирекции ТАР
20.	ГРИДАСОВ Виктор Владимирович	Генеральный директор ОАО «Бамтоннельстрой»
21.	ДОЛГОВ Антон Иванович	Генеральный директор ОАО «ГПР-1»
22.	ДОРМАН Игорь Яковлевич	Заместитель главного инженера ОАО «Метрогипротранс»
23.	ЕЛГАЕВ Сергей Григорьевич	Генеральный директор ОАО «Трансинжстрой»
24.	ЕРШОВ Александр Владимирович	Главный инженер – первый заместитель начальника ГУП «Московский метрополитен»

Продолжение таблицы

№№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Организация, должность
25.	ЗЕМЕЛЬМАН Александр Маркович	Президент ОАО «Метрогипротранс»
26.	ЗЕРЦАЛОВ Михаил Григорьевич	Заведующий кафедрой Московского государственного строительного университета
27.	КАРТОЗИЯ Борис Арнольдович	Профессор Московского государственного горного университета
28.	КУЛАГИН Николай Иванович	Советник генерального директора ОАО «Ленметрогипротранс»
29.	КУРБАЦКИЙ Евгений Николаевич	Заведующий кафедрой Московского государственного университета путей сообщения
30.	МАГДИЕВ Шигабудинов Расулович	Генеральный директор ОАО «Даггидроспецстрой», руководитель Дагестанского регионального отделения ТАР
31.	МАКОВСКИЙ Лев Вениаминович	Заведующий кафедрой ГТУ «МАДИ»
32.	МАЛИЦКИЙ Владимир Семенович	Генеральный директор ООО «Институт «Каналстройпроект»
33.	МАСЛАК Владимир Александрович	Генеральный директор ОАО «Ленметрогипротранс»
34.	МАТЮХИН Геннадий Николаевич	Главный инженер Дирекции по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта
35.	МЕРКИН Валерий Евсеевич	Директор Филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»
36.	ПОЛЯНКИН Геннадий Николаевич	Председатель Сибирского отделения ТАР
37.	ПРЖЕДЕЦКИЙ Борис Меерович	Главный специалист ОАО «Институт Каналстройпроект»
38.	РАХИМОВ Марат Мулахмедович	Начальник МУП «Казметрострой»
39.	РЯЗАНЦЕВ Геннадий Иванович	Генеральный директор ОАО «Мосинжпроект»
40.	УМНОВ Виталий Анатольевич	Профессор Московского государственного горного университета
41.	ФЕДУНЕЦ Борис Иванович	Профессор Московского государственного горного университета
42.	ФУРСА Аркадий Георгиевич	Заместитель начальника Петербургского метрополитена
43.	ЧЕРНЯКОВ Андрей Валерьевич	Президент компании НПО «Космос»
44.	ШИЛИН Андрей Александрович	Генеральный директор ЗАО «Триада-Холдинг»
45.	ШИШОВ Олег Владимирович	Генеральный директор НПО «Мостовик»
46.	ХРАМЕНКОВ Станислав Владимирович	Генеральный директор ГУП «Мосводоканал»
47.	ШТЕКЛЕЙН Александр Реймундович	Генеральный директор ООО «Трансстройтоннель-99»
48.	ЭФЕНДИЕВ Шаик Керимович	Председатель ОАО «Азертоннельметрострой»

В состав президиума правления ТАР с учетом введения в него дополнительно представителя ГУП «Московский метрополитен» избраны следующие.

#### Президиум правления Тоннельной ассоциации России

№№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Организация, должность
1.	АБРАМСОН Валерий Михайлович	Председатель Совета директоров ЗАО «Инфраструктура»
2.	АБРАМЧУК Владимир Павлович	Начальник ФГУП «Управление строительства № 30»
3.	АЛЕКСАНДРОВ Вадим Николаевич	Генеральный директор ОАО «Метрострой» Санкт-Петербург
4.	БЕЛЕНЬКИЙ Михаил Юрьевич	Заместитель генерального директора ОАО «Бамтоннельстрой»
5.	БУЛЫЧЕВ Николай Спиридонович	Заведующий кафедрой Тульского государственного политехнического университета
6.	ГРИДАСОВ Виктор Владимирович	Генеральный директор ОАО «Бамтоннельстрой»
7.	ДОЛГОВ Антон Иванович	Генеральный директор ООО «ГПР-1»
8.	ДОРМАН Игорь Яковлевич	Заместитель главного инженера ОАО «Метрогипротранс»
9.	ЕЛГАЕВ Сергей Григорьевич	Генеральный директор ОАО «Трансинжстрой»
10.	ЕРШОВ Александр Владимирович	Главный инженер – первый заместитель начальника ГУП «Московский метрополитен»
11.	ЗЕРЦАЛОВ Михаил Григорьевич	Заведующий кафедрой Московского государственного строительного университета

Продолжение таблицы

№№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Организация, должность
12.	КАРТОЗИЯ Борис Арнольдович	Профессор Московского государственного горного университета
13.	КОРЧАК Андрей Владимирович	Ректор Московского государственного горного университета
14.	КРОХАЛЕВ Борис Григорьевич	Заместитель председателя правления ТАР, заместитель руководителя Исполнительной дирекции
15.	КУЛАГИН Николай Иванович	Советник генерального директора ОАО «Ленметрогипротранс»
16.	ЛЕВЧЕНКО Александр Николаевич	Председатель правления ТА России
17.	ЛЕРНЕР Валентин Григорьевич	Первый заместитель генерального директора Московской инженерно-строительной компании
18.	МАЛИЦКИЙ Владимир Семенович	Генеральный директор ООО «Институт «Каналстройпроект»
19.	МЕРКИН Валерий Евсеевич	Директор Филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»
20.	СЕНИЦКИЙ Георгий Маркович	Первый заместитель председателя правления Тоннельной ассоциации России
21.	ФЕДУНЕЦ Борис Иванович	Профессор Московского государственного горного университета
22.	ХРАМЕНКОВ Станислав Владимирович	Генеральный директор ГУП «Мосводоканал»
23.	ЧЕРНЯКОВ Андрей Валерьевич	Президент компании НПО «Космос»
24.	ШТЕРН Геннадий Яковлевич	Председатель Совета директоров ОАО «Мосметрострой»

Ученым секретарем ТАР избран В. В. Внутских.

Все кандидатуры были утверждены единогласно.

С отчетом от региональных отделений ТАР о проделанной работе в 2010 г., перспективах на 2011 г. и предложениях по совершенствованию работы ТАР выступили руководитель Санкт-Петербургского РО Н. И. Кулагин, руководитель Сибирского РО Г. Н. Полянкин и руководитель Тульского РО Н. М. Качурин.

В их докладах было отмечено, что отделения ТАР играют заметную роль в своих регионах по организации научно-технических конференций и семинаров, распространению информации о передовом отечественном и зарубежном опыте тоннелестроения и возведения подземных сооружений. Проводится экспертиза сложных проектов по освоению подземного пространства. Члены ТАР активно участвуют в формировании учебных программ высших учебных заведений для подготовки по специальностям, связанным с освоением подземного пространства. Вместе с тем отмечено, что региональные отделения недостаточно активно ведут работу по вовлечению организаций в Тоннельную ассоциацию России и практически не влияют, за исключением Санкт-Петербургского отделения, на соблюдение организациями-членами ТАР дисциплины по уплате членских взносов.

Работа региональных отделений ТАР признана удовлетворительной.

Рекомендовано:

- активизировать работу по вовлечению в Тоннельную ассоциацию новых членов и улучшению дисциплины в своих организациях по уплате членских взносов;

- шире использовать в учебных процессах подготовки специалистов материалы научно-технических конференций, проводимых Тоннельной ассоциацией России;

- активнее включиться в работу по техническому регулированию тоннелестроения и подземного строительства, разработку и актуализацию нормативно-технической документации в этой области.

С отчетом рабочих групп правления ТАР о проделанной работе в 2010 г. выступили их руководители А. В. Корчак и В. Е. Меркин.

В прениях по докладам отмечено, что правление ТАР возлагает большие надежды на то, что рабочие группы окажут заметное влияние на систематизацию и распространение среди организаций-членов ТАР самого передового отечественного и зарубежного опыта тоннелестроения и подземного строительства, помогут активизировать участие Тоннельной ассоциации России в деятельности Международной тоннельной ассоциации, повышении в ней авторитета и статуса ТАР. В связи с этим высказано сожаление, что процесс организации рабочих групп и составления ими программ своей работы затянулся. Было рекомендовано заместителям председателя правления ТАР – руководителям рабочих групп активизировать свою работу и обратить, в первую очередь, внимание на состояние нормативно-технической базы по направлениям работы группы.

Далее Г. М. Сеницкий сообщил о том, что, по ряду обстоятельств, Ревизионная комиссия, избранная на отчетной конференции ТАР в 2008 г., в настоящее время неработоспособна и Конференции предложено сформировать ее в новом составе из трех человек: Умнова Виталия Анатольевича (проф., зав. кафедрой МГУ), Конохова Дмитрия Сергеевича (проф. МГСУ) и Титова Евгения Юрьевича (доцента МГУ путей сообщения).

После проведения голосования В. А. Умнову была предоставлена возможность выступить с информацией о проведенной вновь избранной Ревизионной комиссией проверке финансовой деятельности ТАР за 2010 г.

В докладе отмечено, что Ревизионная комиссия при ознакомлении с результатами финансово-хозяйственной деятельности Тоннельной ассоциации России за 2010 г. нарушений в расходовании финансовых средств, материальных ценностей, а также существенных отклонений от требований по их учету и отчетности не установила. Все авансовые отчеты составляются ежемесячно, просроченных сумм задолженности не выявлено. Нарушений в расходовании финансовых средств, материальных ценностей, а также существенных отклонений от требований по их учету и отчетности не установлено.

Ревизионная комиссия считает, что в целом намеченный на 2010 г. план работ выполнен.

По итогам 2010 г. финансово-хозяйственная и производственная деятельность признана удовлетворительной.

О программе работы Тоннельной ассоциации России на 2011 г. рассказал руководитель Исполнительной дирекции ТАР Г. М. Сеницкий.

В докладе подведены итоги работы ТАР в 2010 г. и отражены направления деятельности ассоциации в 2011 г. Они заключаются в следующем:

- активировать работу общества через рабочие группы;

- продолжить деятельность в области проектных и экспертных работ. Обратиться к членам президиума и правления ТАР с просьбой шире привлекать проектно-экспертный отдел Исполнительной дирекции к работам по проектированию и строительству новых участков линий метро и тоннелей транспортного назначения;

- по согласованию с проф. В. Е. Меркиным и А. А. Шилиным для усиления роли и значения ТАР создать НИЦ ТАР (Научно-инженерный центр Тоннельной ассоциации России), который будет решать широкий круг вопро-

сов научно-технического сопровождения проектирования и строительства тоннелей и метрополитенов как в Москве, так и в других городах и регионах России;

- формирование российской делегации для участия в Международном конгрессе МТА в Хельсинки;

- организация и проведение Международной выставки и конференции по развитию строительства «Подземный город» в октябре 2011 г.;

- проведение подготовительной работы по организации нового конкурса «Инженер года Тоннельной ассоциации России», направленного на активизацию участия инженерного и научного состава организаций-членов Тоннельной ассоциации в решении сложных технических задач подземного строительства. В феврале 2012 г. планируется подвести итоги первого такого конкурса.

Решено работу ТАР в 2010 г. одобрить и принять к руководству изложенные в докладе направления деятельности в 2011 г.

С докладами «Об участии членов ТАР в разработке и актуализации нормативно-технической документации в области проектирования и строительства тоннелей и подземных сооружений» выступили С. Н. Алпатов, генеральный директор СРО НП «Объединение подземных строителей» и В. Е. Меркин, директор НИЦ ТМ ОАО «ЦНИИС».

В принятом по докладам решении отмечено: признать своевременной и одобрить

проводимую Исполнительной дирекцией ТАР, СРО НП «Объединение подземных строителей», НИЦ ТМ ОАО «ЦНИИС», ОАО «Метротиранс» работу, направленную на актуализацию нормативно-технической базы тоннелестроения и подземного строительства, по подготовке предложений Минрегиону РФ по созданию Программы обеспечения тоннелестроителей и строителей подземных сооружений современной нормативно-технической базой. Рекомендовать руководителям рабочих групп правления ТАР и руководителям региональных отделений ТАР активно включиться в эту работу.

О журнале «Метро и тоннели» доложил первый заместитель председателя правления ТАР Г. М. Сеницкий.

Он проинформировал делегатов конференции о том, что учредителями журнала «Метро и тоннели» до 2005 г. являлись ОАО «Мосметрострой», ГУП «Московский метрополитен», ОАО «Мосинжстрой» и ООО «Тоннельная ассоциация России». В 2005 г., по истечении срока действия Учредительного договора, журнал был перерегистрирован на группу частных лиц. Никакие договорные отношения с издателем журнала «Метро и тоннели» не установлены, что снижает возможности Тоннельной ассоциации России влиять на формирование тематической направленности журнала и наполнение его конкретными материалами. Предложено два варианта решения этой проблемы: первый – ввести в состав учредителей журнала

организации, которые являлись ими до 2005 г, второй – создать новый официальный печатный орган Тоннельной ассоциации России.

По итогам выступлений было принято решение поручить Исполнительной дирекции ТАР совместно с ООО «Метро и тоннели» до конца мая 2011 г. подготовить юридически обоснованные предложения по первому варианту решения данной проблемы.

Кроме того, предложено расширить публикации в журнале научных статей, подготовленных соискателями на присвоение ученых званий.

Рассматривая последний вопрос повестки дня «Об организации ежегодного конкурса ТАР на звание «Лучшие инженерные решения года в области проектирования и строительства тоннелей и метрополитенов», Г. М. Сеницкий проинформировал делегатов, что Исполнительная дирекция ТАР в целях популяризации и повышения эффективности инженерного труда в научных, проектно-конструкторских и строительных организациях, занятых в области метростроения, сооружения транспортных и инженерных тоннелей выступила с предложением организовать ежегодный конкурс Тоннельной ассоциации России на звание «Лучшие инженерные решения года в области проектирования и строительства тоннелей и метрополитенов».

Данное предложение, а также Положение о проведении конкурса были одобрены единогласно.



## ПОЗДРАВЛЕНИЯ



14 мая 2011 г. исполнилось 90 лет **Гевирцу Герману Яковлевичу** – крупному специалисту в области подземного гидротехнического строительства, заслуженному строителю РФ, заслуженному строителю Дагестана, почетному члену Тоннельной ассоциации России.

Герман Яковлевич родился в Ленинграде. С 22 июня 1941 г. по 1946 г. находился в действующей армии, где воевал на передовой морским пехотинцем, дойдя до

Берлина. За боевые заслуги Герман Яковлевич имеет многочисленные награды, и в том числе за проявленное мужество – медаль «За отвагу».

После возвращения к мирной жизни Герман Яковлевич окончил Ленинградский горный институт и посвятил свою трудовую жизнь строительству подземных объектов – сначала оборонного комплекса, а после зачисления в 1961 г. в институт «Ленгидропроект» – возведению подземных сооружений гидроэлектростанций. Неоценим его вклад в строительство Верхне-Тулумской и Борисоглебской ГЭС на Северо-Западе, Усть-Хантайской, Виллойской и Колымской ГЭС на Севере, Саяно-Шушенской ГЭС в Сибири и Бурейской ГЭС на Дальнем Востоке. В Дагестане под его руководством проек-

тировались многочисленные тоннели на Чиркейской, Миатлинской, Ирганайской ГЭС, а также самый протяженный (4,3 км) в России Пимринский автодорожный тоннель, который он проектировал в качестве главного инженера проекта.

Герман Яковлевич, стремясь к новым научным и техническим решениям, внес большой вклад в развитие подземного строительства в условиях многолетней мерзлоты и защитил ученую степень кандидата технических наук. Данные научных исследований были использованы при составлении нормативных и методических материалов.

Внедрение новых прогрессивных решений в осуществленных проектах в области гидроэнергетики неоднократно отмечались медалями ВДНХ СССР, среди которых есть золотые и серебряные. Многие разработанные технические решения актуальны и в настоящее время.

Большой вклад внес Г. Я. Гевирц в воспитание технических кадров для подземного строительства, читая лекции и работая с дипломниками, а также в качестве члена ГЭК при Санкт-Петербургском государственном горном университете.

В настоящее время Герман Яковлевич трудится в ОАО «Ленгидропроект» в отделе экспертизы.

Коллектив ОАО «Ленгидропроект» поздравляет Германа Яковлевича со знаменательной датой и желает ему доброго здоровья, бодрого настроения и успехов в области тоннелестроения.

## IV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЕЙ «ИНТЕРТОННЕЛЬ 2011»



**В** Москве в ЦВК «Экспоцентр» с 16 по 18 марта 2011 г. прошла IV Международная специализированная выставка по проектированию, строительству и эксплуатации тоннелей «Интертоннель 2011». На ней демонстрировались новейшие достижения в области оборудования, технологий и услуг для обеспечения проектирования, сооружения и эксплуатации тоннелей, а также передовой опыт их прокладки и реконструкции как необходимого элемента путей сообщения. Выставка была призвана оказывать содействие дальнейшему развитию предприятий, обеспечивающих функционирование тоннельной отрасли.

Мероприятие проходило при поддержке и участии Министерства транспорта РФ, правительства Москвы, Тоннельной ассоциации России и Международной академии транспорта. Высокую значимость мероприятия отметили первые лица крупнейших организаций транспортно-строительной отрасли. По словам председателя правления Тоннельной ассоциации России А. Н. Левченко «...ставшая уже традиционной встреча будет еще одним шагом, который приблизит нас к успешной реализации крупнейших не только по российским, но и по европейским меркам технологий, проектов по развитию инфраструктуры».

На церемонии официального открытия выставки с приветственным словом выступили:

- председатель правления Тоннельной ассоциации России А. Н. Левченко;
- председатель Комитета по транспортной инфраструктуре и энергосбережению Национального объединения проектировщиков В. Г. Рыбкин;
- вице-президент Международной академии транспорта В. А. Досенко, который зачитал приветствие министра транспорта РФ И. Е. Левитина.

В выставке приняли участие такие крупнейшие отраслевые компании как Тоннельная ассоциация России, ООО «ТеМА», ООО «Габियोны Маккаферри СНГ», ООО «Мак Дрилл Технологии Руссия», ОАО «Строй-Трест», ЗАО «Петербург-Дорсервис», ЗАО «Геомаш-Центр», ООО «Тоннельдорстрой», Zitron (Испания), CFT GmbH (Германия) и другие компании из России, Германии, Испании, Австрии. Широкое участие отечественных и европейских фирм предлагает уникальную возможность установления международных деловых контактов, позволяет ознакомиться с новейшими технологиями и услугами, применяемыми в обеспечении тоннельного хозяйства в России и за рубежом.

На выставке были представлены новые технологии и материалы в области проектирования и строительства тоннелей, инженерных систем, обеспечения противопожарной и экологической безопасности и многое другое. Участники продемонстрировали новейшие разработки, которые будут способствовать модернизации процесса тоннелестроения в России. Группа компаний «СК МОСТ» представила вариант совмещенного тоннельного перехода через р. Лену в Табагинском створе и в створе Нижний Бестях - Якутск, компания «Геомаш-Центр» – тоннелепроходческие машины и свайную буровую установку УСГ-010.

В рамках деловой программы выставки прошел круглый стол на тему «Транспортные тоннели для будущих скоростных магистралей». Основные тематики, вошедшие в его программу: прогрессивные технологии и конструкции в транспортном тоннелестроении, проблемы обеспечения экологической безопасности, вопросы технического регулирования при проектировании противопожарной защиты и многое другое. Доклады на круглом столе представили:

- А. В. Черняков, президент ООО «НПО «КОСМОС» – «Проектирование и строительство тоннелей в сложных градостроительных условиях»;

- Е. М. Пашкин, член Тоннельной ассоциации России, профессор, доктор геолого-минералогических наук – «Использование подземного пространства под памятниками архитектуры в процессе их реставрации»;

- С. Г. Гендлер, зав. лабораторией НИПИИ «Ленметрогипротранс» – «Проблемы обеспечения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях городов и уникальных природных зон»;

- Е. В. Шекудов, зам. директора по научной работе Филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены» – «Прогрессивные технологии и конструкции в транспортном тоннелестроении России»;

- О. В. Беннетт, региональный менеджер по России и СНГ «Elasto Plastic Concrete» – «Конструкционная синтетическая фибра BarChip – экономичное и долговечное армирование для всех видов тоннельной обделки»;

- Н. Ф. Давыдкин, генеральный директор ООО «НПКЦ «Интерсигнал» – «Актуальные вопросы технического регулирования при проектировании противопожарной защиты автотранспортных тоннелей в мегаполисе»;

- Б. А. Воробьев, зам. генерального директора ООО «Петростройсистема» – «Интеллектуальные решения SOFiSTiK для проектирования мостов, тоннелей и задач геотехники»;

- А. И. Клименко, генеральный директор ООО «Краспан» – «Защитно-декоративные системы облицовки автотранспортных тоннелей КРАСПАН»;

- М. О. Лебедев, зав. лабораторией ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» – «Обеспечение устойчивости массива грунтов впереди забоя тоннеля»;

- А. В. Косолапов, директор ООО «Стротэкс-Консалтинг» – «Использование технологии алмазной резки при ремонте и реконструкции подземных сооружений».

За время работы мероприятий специалисты в области тоннелестроения и обеспечения транспортной инфраструктуры получили представление о состоянии отрасли как в России, так и за рубежом, проанализировали проблемы, вызванные сложной ситуацией в мировой экономике, получили новые деловые контакты для долгосрочного сотрудничества. Цель выставки – организовать конструктивный диалог участников рынка тоннелестроения – была полностью реализована.



# ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ В СЛОЖНЫХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А. В. Черняков, к. т. н., президент НПО «Космос»

**З**а время своего существования НПО «Космос» накопило уникальный опыт возведения подземных сооружений, в том числе в сложных градостроительных и инженерно-геологических условиях. В качестве примеров приведем следующие объекты:

- в Москве: Лефортовский автотранспортный тоннель мелкого заложения, Сушевский, Ходынский, Ленинградский, Волоколамский и строящийся Алабяно-Балтийский тоннели в составе транспортной развязки в районе станции метро «Сокол»; реконструкция фундаментов дворцового комплекса «Царицыно»;

- в Московской области: тоннель на Сколковском шоссе;

- в Санкт-Петербурге: Муринский тоннель; участие в строительстве нулевого цикла нового здания Мариинского театра;

- в Перми: автодорожные тоннели под путями Транссибирской железной дороги;

- в Казани: станция метро «Горки» и автотранспортный тоннель под ул. Ершова.

Сооружение всех этих объектов производилось в условиях плотной городской застройки, в непосредственной близости от фундаментов зданий, при большой насыщенности подземного пространства инженерными коммуникациями, наличии интенсивного движения автотранспорта в зоне строительства в слабых, часто водонасыщенных грунтах, при глубинах вскрываемых котлованов до 30-40 м. В границах участков работы велись и ведутся под действующими объектами повышенной ответственности (общие коммуникационные коллекторы, железнодорожные пути, линии метрополитена), (рис. 1).

Необходимость их выполнения в неординарных, сложных и особо сложных условиях требует разработки и внедрения нестандартных инновационных решений как конструктивно-технологического, так и организационного характера. Этот постоянный процесс совершенствования работы возможен благодаря:

- применению новых материалов и оборудования в сочетании с традиционными;

- целенаправленному и системному совершенствованию технологии и конструктивных решений с учетом опыта реализации на предыдущих объектах, использованию скрытого потенциала и адаптации к изменившимся условиям нового объекта;

- внедрению в процессе строительства системы оперативного контроля над степенью и характером влияния выполняемых работ

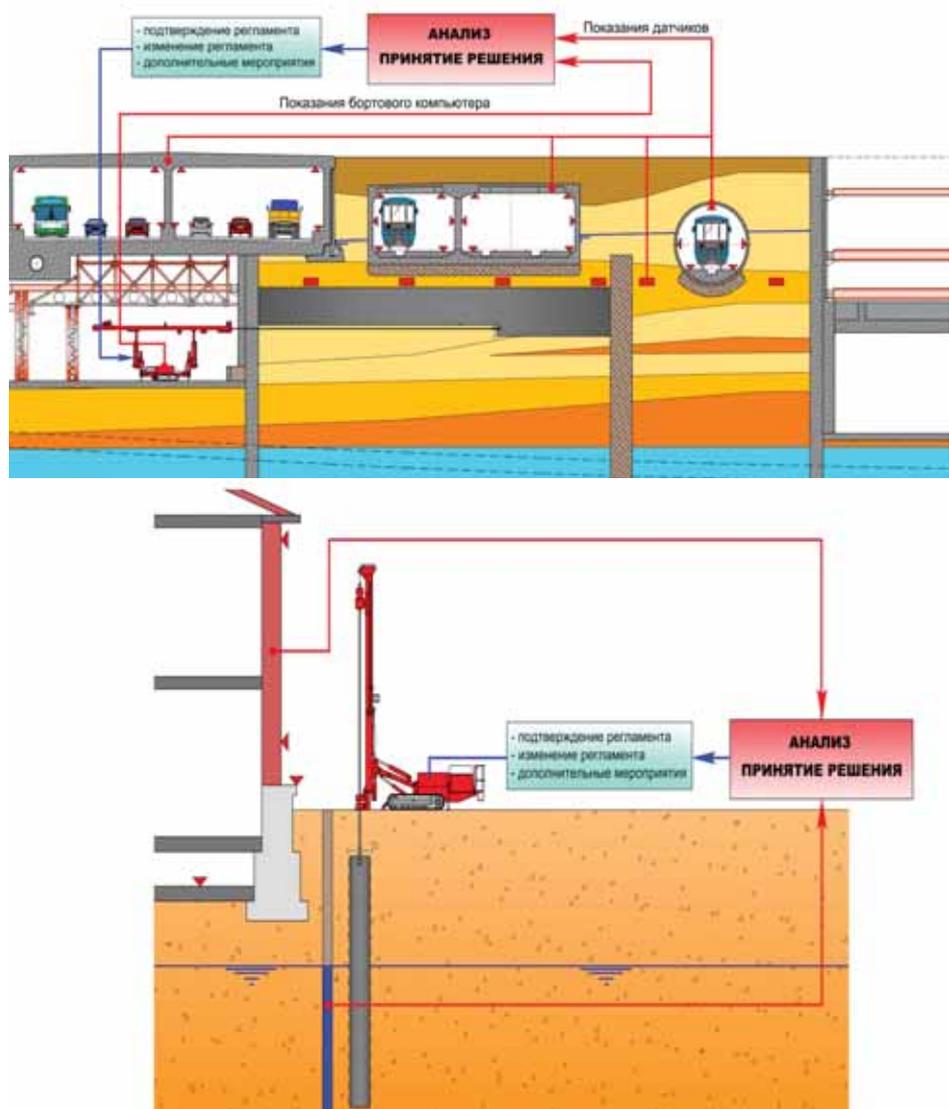


Рис. 1. Схема мониторинга и принятия технологических решений

на окружающую среду в увязке с системой оперативного управления параметрами производственного процесса;

- включению в состав организации собственного научного подразделения и проектного института, реализующего задачи строительства путем оперативного проектирования.

Начиная с 90-х гг. НПО «КОСМОС» начало активное внедрение в практику новой и малоизвестной технологии струйной цементации грунтов.

Нами разработаны и применены различные модификации использования данной технологии как самостоятельно, так и в сочетании с другими технологиями и конструкциями, что позволяет решать широ-

кий спектр задач, связанных с подземным строительством.

Огромный практический опыт использования технологии струйной цементации и наличие собственной научно-лабораторной базы позволили нам разработать и внедрить следующие, не имеющих аналогов, системы:

- определения оптимальных (применительно к стоящей конкретной задаче) параметров грунтоцемента (однородность, прочность, водонепроницаемость и т. д.) и методики их достижения;

- подбора составов и технологии производства соответствующих добавок;

- модификации оборудования;

- новые технологические регламенты.

Остановимся на некоторых вариантах и аспектах применения технологии струйной цементации, реализованных нами на различных объектах.

**Использование технологии «JET-GROUTING» для ограждений котлованов**

При наличии котлованов глубиной до 10–12 м ограждение стен целесообразно выполнить из армированных вертикальных грунтоцементных свай. В сухих грунтах эти сваи могут устраиваться в один ряд, в том числе с зазором между ними. В обводненных грунтах – в два и более рядов для обеспечения водонепроницаемости ограждения. Подобный тип конструкции позволяет исключить использование тяжелого технологического оборудования, что крайне важно при работе вблизи зданий, и существенно ускорить процесс устройства ограждения.

Его конструкция в глубоких котлованах формируется из отдельно стоящих буронабивных свай в сочетании с массивом из нескольких рядов (как правило, двух) вертикальных грунтоцементных свай (рис. 2). В сухих и слабообводненных (рис. 3) грунтах буронабивные сваи могут устанавливаться с существенным зазором между собой (шаг свай в осях может достигать 2 м), а в обводненных – они располагаются с минимальным межосевым расстоянием.

Рассмотрим актуальность применения рассмотренной конструкции ограждения стен применительно к глубоким котлованам, вскрываемым в водонасыщенных грунтах, на следующих примерах.

Традиционно используемые конструкции ограждения стен котлованов (шпунт, «стена в грунте», буроэкерные сваи) имеют ряд существенных недостатков. Шпунт не может быть использован в условиях плотной городской застройки, так как он слишком податлив и имеет недостаточную несущую способность при больших величинах бокового давления грунта. «Стена в грунте» не всегда хорошо формируется в условиях водонасыщенных песков и, в особенности, текучих супесей и суглинков. Буроэкерные сваи имеют тенденцию к расхождению на большой глубине, и их устройство требует соблюдения жесткого регламента производства работ (разрушивание свай первого этапа не позднее определенного времени с момента их изготовления), который крайне трудно или невозможно выполнить при значительной глубине свай.

В отличие от традиционных конструктивных решений, применение ограждения (см. рис. 2) на основе сочетания буронабивных и грунтоцементных свай позволяет создавать ограждения:

- для котлованов любой глубины и в любых типах грунтов;
- любой конфигурации в плане;
- в случаях невозможности выноса коммуникаций из зоны строительства;
- не только вертикальные, но и наклонные ограждения, в том числе и ограждения всеерного типа;

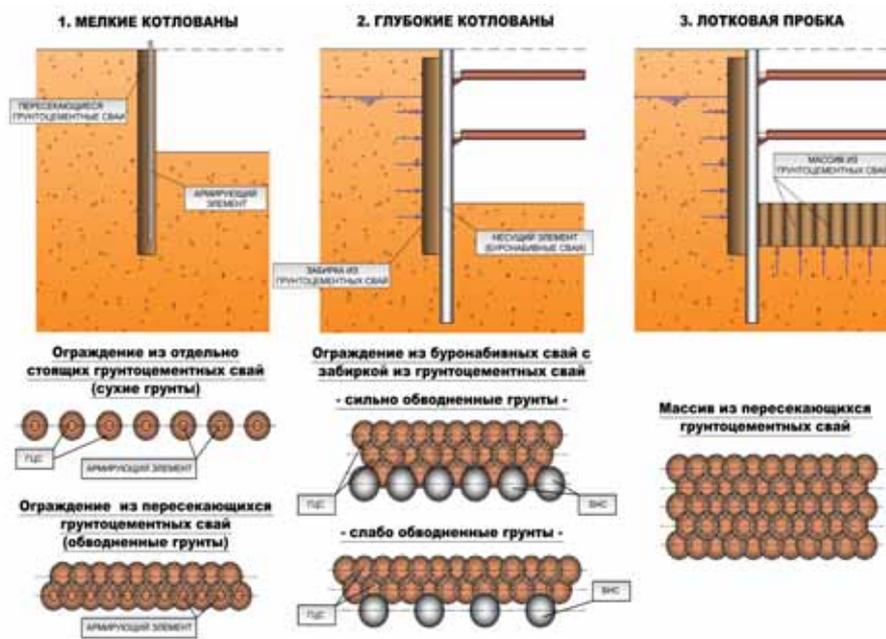


Рис. 2. Варианты использования технологии «JET-GROUTING» для создания ограждающих конструкций котлованов

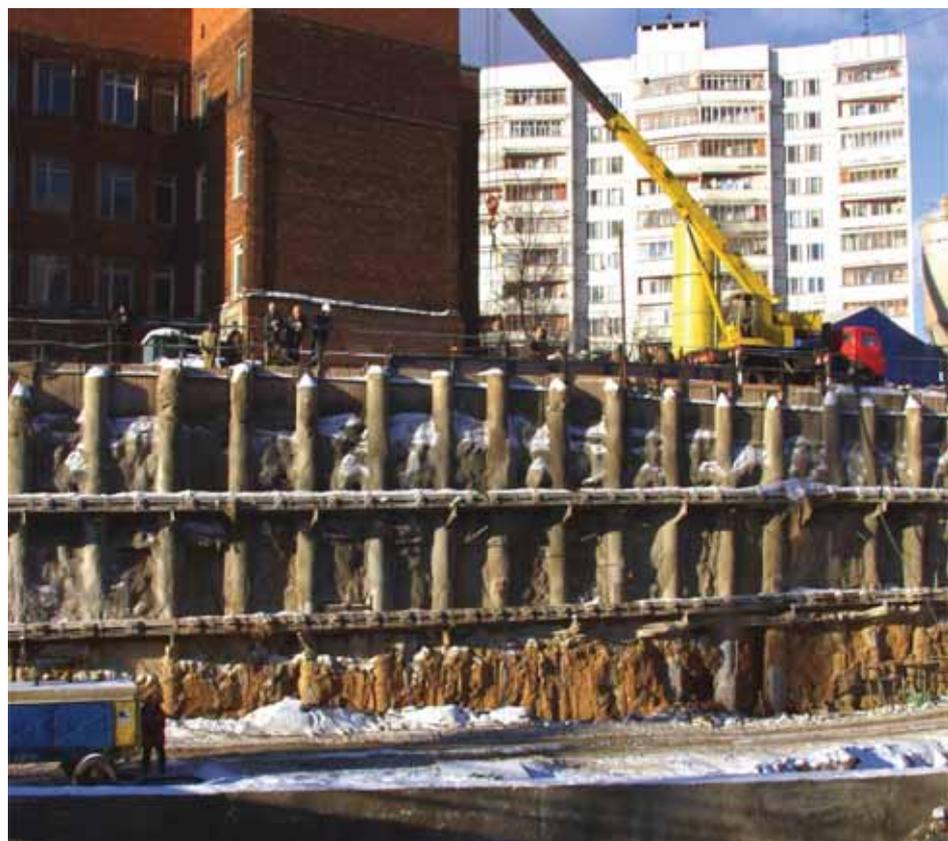


Рис. 3. Пример использования комбинированной ограждающей конструкции (необводненные грунты)

• легко устранять обнаруженные дефекты ограждения путем устройства дополнительных грунтоцементных свай.

Горизонтальная плита из массива секущихся вертикальных грунтоцементных свай позволяет:

- существенно снизить водопиток со стороны дна котлована, обеспечить возможность применения в нем технологического оборудования, достичь требуемой устойчивости грунта в основании будущего сооружения, уменьшить

глубину ограждающих конструкций стен котлована, так как исключается необходимость доведения низа ограждения до водоупора, что одновременно исключает барражный эффект.

Вертикальные грунтоцементные сваи могут быть использованы также и для улучшения характеристик (лечения) ограждений (рис. 4):

- создаваемых методом «стена в грунте» путем обработки зон стыков между секциями конструкции;

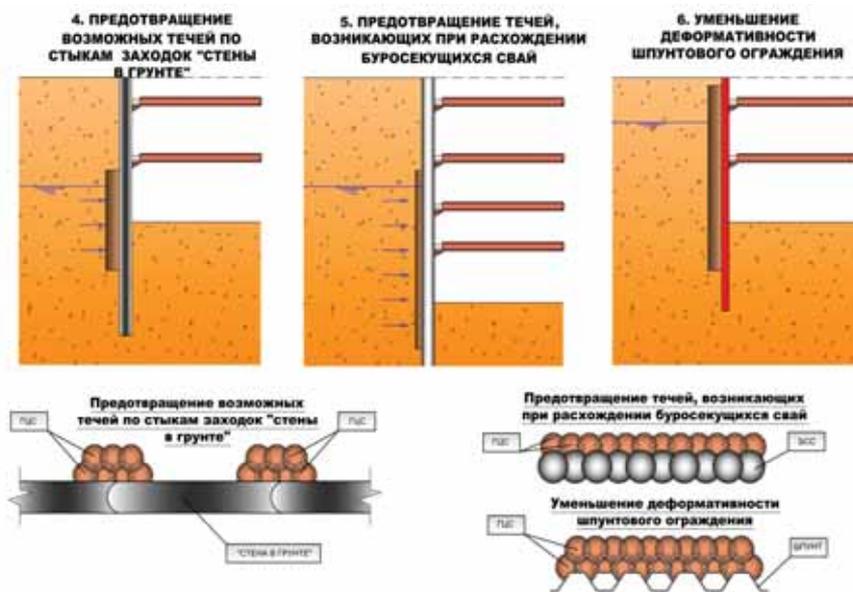


Рис. 4. Варианты использования технологии «JET-GROUTING» в сочетании со «стеной в грунте», буросекущимися сваями, шпунтовым ограждением

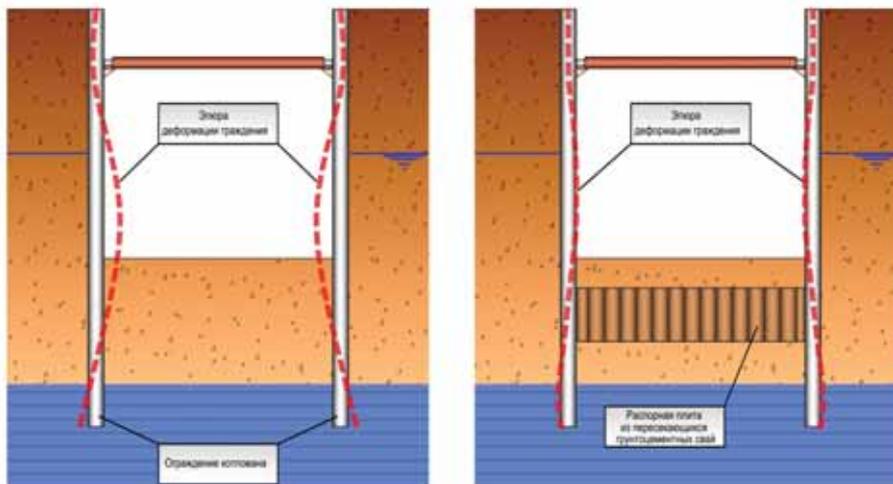
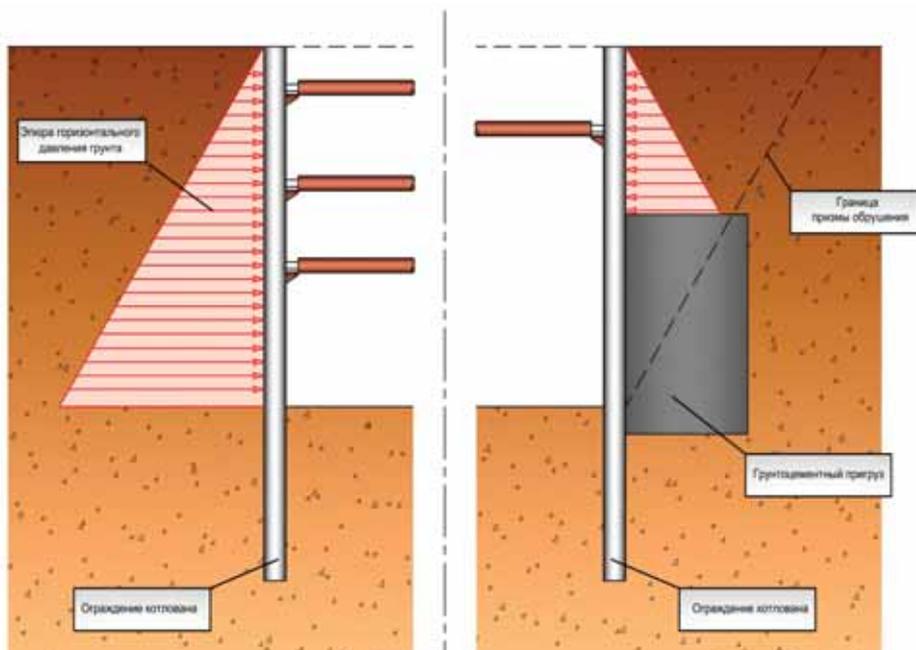


Рис. 5. Повышение устойчивости котлована за счет закрепления грунта

Рис. 6. Улучшение статической схемы работы ограждения котлованов



- из буросекущихся свай путем создания противофильтрационной завесы в зоне возможного расхождения буровых свай;
- шпунта для снижения деформативности ограждения.

#### Использование технологии «JET-GROUTING» для улучшения статической схемы работы ограждения стен котлованов

При устройстве с поверхности земли до начала разработки котлована горизонтального массива (пробки) из вертикальных грунтоцементных свай в зоне дна достигается создание элемента, выполняющего функцию распора для ограждающих стен. Подобное опережающее создание дополнительного опирания стен существенно снижает как деформации ограждения, так и величину максимального (то есть расчетного) изгибающего момента (рис. 5).

Создание за ограждением котлована грунтоцементного массива шириной, превышающей ширину призмы обрушения, дает возможность исключить действие на самоограждение бокового давления грунта в пределах высоты массива (рис. 6).

#### Дополнительные мероприятия, реализуемые при работе в непосредственной близости от фундаментов зданий

При разработке котлованов в непосредственной близости от фундаментов зданий предварительно между фундаментом и будущим ограждением котлована создается отсечная стена из секущихся вертикальных грунтоцементных свай (рис. 6). Это снижает вибрационные воздействия на фундамент от работы тяжелой буровой техники и локализует зону деформаций грунтового массива, которые могут появиться как в процессе устройства ограждения, так и при раскопке котлована в пределах зоны между ограждением и отсечной стеной.

С использованием оборудования по устройству грунтоцементных свай может производиться также нагнетание растворов под подошву фундамента с целью повышения устойчивости его основания и компенсации возникших или ожидаемых деформаций фундамента.

При необходимости с применением того же оборудования можно выполнить усиление или реконструкцию фундаментов.

#### Использование технологии «JET-GROUTING» при устройстве пригрузов для стартовых и приемных котлованов при щитовой проходке

При закрытой проходке с помощью проходческих щитов очень важно создать необходимое давление при входе и сброс давления на выходе из грунтового массива. Для этой цели целесообразно создавать пригрузки из вертикальных грунтоцементных свай для введения в грунтовой массив из стартового котлована и принятия из грунтового массива в приемный котлован проходческих щитов.



Рис. 7. Проходка штольни в закрепленном массиве

**Применение технологии «JET-GROUTING» для горизонтального закрепления грунтов для обеспечения вертикальности забоя**

При проходке выработок под прикрытием опережающих защитных экранов (например, экранов из труб) существенным фактором, повышающим безопасность производства работ и снижающим их стоимость, является снижение и гарантированная фиксация величины рабочего пролета элемента защитного экрана в процессе разработки грунта. Это достигается путем закрепления грунтового массива горизонтальными грунтоцементными сваями (рис. 7). Они устраиваются с шагом в свету, сопоставимым с диаметром свай и могут быть пустыми, но могут и армироваться, например, трубками из фибергласса. Подобное закрепление грунта при правильном назначении шага свай и характера армирующего элемента, в зависимости от типа грунта и высоты забоя, обеспечивает вертикальность грунтового массива в процессе его разработки.

**Дополнительные мероприятия, повышающие безопасность производства работ**

Гибкость и простота использования технологии струйной цементации позволяет реализовать огромный объем практических мероприятий, дающих возможность повысить безопасность производства работ.

Одним из примеров таких мероприятий является устройство вертикальных отсечных стен между железнодорожными путями в зоне последующего строительства под ними закрытым способом (с использованием экрана из труб) участка Муринского автодорожного тоннеля в Санкт-Петербурге. Создание рассечек гарантированно обеспечило величины рабочих пролетов труб экрана, что, в свою очередь, ограничило величины внутренних усилий и деформаций элементов опережающего крепления в про-

цессе проходки и возведения основной конструкции тоннеля.

**Использование технологии «JET-GROUTING» при закрытой проходке тоннелей горным способом в водонасыщенных грунтах**

Рассмотрим способ прохождения закрытой проходки в водонасыщенных грунтах на примере строящегося в настоящее время в Москве Алабяно-Балтийского тоннеля, входящего в состав транспортной развязки в районе станции метро «Сокол».

Трасса и элементы конструкции тоннеля располагаются на глубине до 40 м в грунтах, водонасыщенных, начиная с глубины около 7 м от поверхности. Участок тоннеля расположен под действующими Волоколамским и Ленинградским автодорожными тоннелями, а также перегонными тоннелями метро. Под метрополитеном тоннель сооружается закрытым способом. Допустимая деформация конструкции метрополитена составляет 20 мм. В грунтовом массиве имеются оставленные при прежнем строительстве вертикальные стальные балки ограждения котлована. В подобных условиях применение технологий, предусматривающих использование опережающих экранов из труб, продавливание или замораживание, оказалось невозможным. В связи с этим была принята схема работ, предусматривающая:

- создание по бокам от зоны закрытой проходки стартовых котлованов;
- полное закрепление водонасыщенного грунта под перегонными тоннелями метрополитена путем создания из стартовых котлованов массивов из горизонтальных грунтоцементных свай;
- проходка в закрепленном массиве системы штолен горным способом с применением механизированного оборудования (горнопроходческих комбайнов);
- бетонирование в части пройденных штолен элементов конструкции тоннеля с по-

следующим их объединением в единую конструкцию (рис. 7).

Для уменьшения воздействия на конструкцию перегонных тоннелей метрополитена от процесса формирования грунтоцементных свай, используются разгрузочные скважины, позволяющие снимать избыточное давление. При необходимости производится дополнительная подкачка раствора в пространство между грунтоцементным массивом и конструкцией перегонных тоннелей.

Для повышения безопасности производства работ в условиях необходимости соблюдения жестких требований по деформациям перегонных тоннелей метрополитена, а также учитывая повышенную степень ответственности при проведении работ на большой глубине в слабых обводненных грунтах вблизи зданий и действующих коммуникаций, была разработана и внедрена система оперативного реагирования на параметры складывающейся ситуации.

Основным ее элементом является система мониторинга состояния конструкций метрополитена, зданий и коммуникаций, грунтового массива и грунтовых вод в увязке с фактическими параметрами технологических процессов. В реальном времени, на протяжении всего срока производства работ с геодезических реперов, гидронаблюдательных скважин, грунтовых датчиков, бортовых компьютеров буровых машин информация передается в единый центр – ЦУП (рис. 8), систематизируется и обрабатывается по специально разработанным программам, затем транслируется на мониторы компьютеров и плазменные панели (рис. 9). В случае превышения одним или несколькими факторами предельно допустимой величины, автоматически подается сигнал о возникновении нештатной ситуации и принимается решение о методе ее преодоления (либо с использованием заранее разработанного алгоритма действия, либо путем экстренного привлечения соответствующего специалиста).



Рис. 8. ЦУП



Рис. 9. Рабочее место оператора ЦУПа

### Модификация цементной суспензии для достижения проектных требований к закрепленному грунту

Грунтобетон, полученный методом струйной цементации, имеет различные физико-механические свойства (прочность, проницаемость, сдвигоустойчивость, кислотность и пр.) на разных участках грунтоцементного элемента. Закрепленный грунт, описанный выше, становится по своим характеристикам ближе к бетону, но количественные параметры этих новых свойств будут существенно зависеть от того, какой грунт подвергался обработке. Также следует отметить, что гидрогеология на строительном объекте изменяется, в том числе, и по глубине. Таким образом, для того, чтобы гарантированно получить диктуемые проектом свойства грунтобетона необходимо использовать химические добавки, например, комплексную добавку для струйной цементации (КДСЦ). Её использование позволяет ускорить процесс набора прочности грунтобетоном и получить более однородный материал (рис. 10 и 11).

Технология струйной цементации подразумевает применение цементной суспензии с водоцементным отношением (В/Ц) 0,9-1,2, далеким от оптимального, что, в свою очередь, существенно влияет на прочность и од-

нородность получаемого грунтобетона. Использование добавки КДСЦ в составе инъекционного раствора дает возможность уменьшить вязкость цементной суспензии и поверхностное натяжение на границе с частицами грунта, что способствует увеличению проникновения цемента в грунт, а также снизить В/Ц (без угрозы проблем с оборудованием). В результате возрастает прочность грунтобетона и однородность получаемого закрепленного грунта. Следует также отметить, что при работе в сильнообводненных и грунтах с содержанием органических остатков качественный грунтобетон без добавки КДСЦ получить просто невозможно.

### Выводы

- Создан замкнутый производственный цикл, позволяющий выполнять работы по проектированию и строительству подземных объектов различного назначения, а также по усилению и реконструкции фундаментов зданий в разнообразных условиях, в том числе сложных гидрогеологических и градостроительных.
- Разработаны и внедрены различные модификации использования технологии струйной цементации как самостоятельно, так и в сочетании с другими технологиями и конструкциями, что позволяет решать широ-

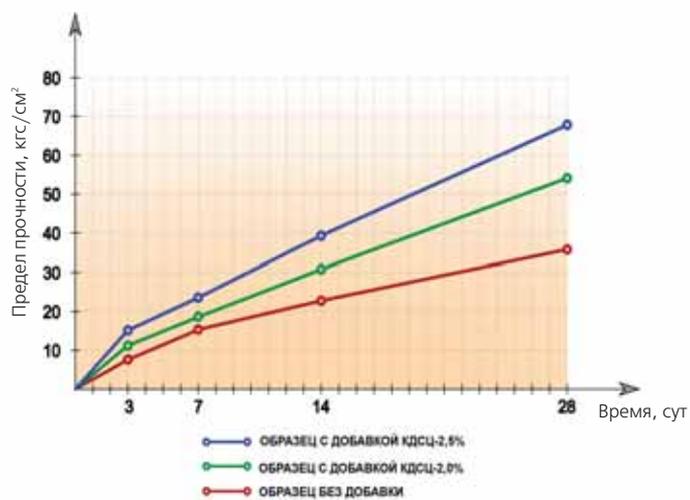


Рис. 10. Кинетика набора прочности образцов грунтобетона (свая диаметром 800 мм)

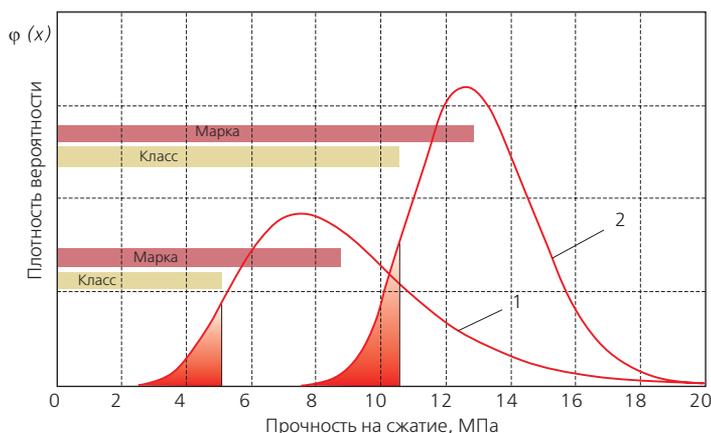


Рис. 11. Кривые распределения значений прочности, марки и класса грунтобетона. Грунт-наполнитель – супесь. В/Ц = 0,7

кий спектр задач, связанных с подземным строительством.

• Практический опыт применения технологии струйной цементации и наличие собственной научно-лабораторной базы позволили нам разработать и внедрить следующие, не имеющих аналогов, системы:

- определения оптимальных (применительно к стоящей конкретной задаче) параметров грунтоцемента (однородность, прочность, водонепроницаемость и т. д.) и методики их достижения;
- подбора составов и технологии производства соответствующих добавок;
- модифицирования оборудования;
- разработки новых технологических регламентов.

• Разработана и внедрена система мероприятий, дающая возможность вести работы по устройству коммуникаций в условиях постоянных динамических нагрузок (например, от транспортных средств) в условиях плотной городской застройки.

• Создана автоматизированная система, управляющая строительством в режиме реального времени, позволяющая оптимизировать технологические процессы в зависимости от состояния окружающей среды и текущей обстановки в зоне производства работ.



## ГРУНТОВЫЕ АНКЕРА И СВАИ «АТЛАНТ»

ВИНТОВЫЕ



ТРУБЧАТЫЕ



ПРЯДЕВЫЕ



- Производство и продажа
- Любые объемы поставки
- Сжатые сроки
- Продукция сертифицирована

т. (495) 226-18-37  
т. (342) 219-61-56  
info@cct-drill.ru

**WWW.CCT-DRILL.RU**



# ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ В ЮЖНОМ РЕГИОНЕ

А. В. Алексеев, главный инженер ОАО «Тоннельный отряд № 44»



**Настоящая статья затрагивает острую тему для нашей страны – отсутствие единой нормативной базы в проектировании и возведении тоннельных сооружений.**

**Автор приводит доводы, когда из-за несогласованных действий заказчиков, проектировщиков и строителей необоснованно увеличивается стоимость возводимых объектов, а отсутствие законодательной базы препятствует применению новаторских решений в строительстве тоннелей.**

На недавно прошедшей Международной конференции по тоннелестроению в г. Сочи рассматривались актуальные вопросы по возведению подземных сооружений, в частности, негативное влияние Федерального закона № 94 на внедрение прогрессивных конструкций, технологий, новых материалов, запрещающее внесение изменений в рабочую документацию по отношению к утвержденному проекту.

В современных условиях, когда стадия «Технико-экономическое обоснование» (ТЭО) отменена, основные проектные решения закладываются на стадии проектирования «Проект», как правило, по объектам аналогам 30–40-летней давности, изменить, которые при строительстве в соответствии с законом практически невозможно, несмотря на то, что работы вести надо в соответствии с результатами проведенных тендерных торгов – на 20–25 % дешевле, а сроки необходимо уменьшить по отношению к проектным в два раза.

К сожалению, эта не единственная проблема.

На прокладке автодороги «Дублер Курортного проспекта» при прочих равных условиях – нахождение тоннелей на прямых отрезках, при примерно одинаковых инженерно-геологических условиях, при одинаковых габаритах – внутреннее очертание конструкций тоннелей № 1, 2, 4, 5, 6 и 8 различны и, как следствие, необходимо применять различные типы опалубок, удорожающие строительство. Например, сечение эвакуационной штольни тоннеля № 2 на 2,5 м выше такой же штольни тоннеля № 1 и по высоте приближается к сечению железнодорожного тоннеля ( $H = 7$  м).

Этот факт произошел из-за того, что проектированием занимались институты «Ленметрогипротранс», «Сочитранстройтоннельпроект», «Укрспецтоннельпроект», «Тоннельпроектинжиниринг», «Дорсервис», «Роситалдор», а единого руководства процессом проектирования со стороны заказчика и генпроектировщика, позволившего бы унифицировать конструкции тоннелей и штолен, не было.

По этой же причине, при прочих равных условиях, системы вентиляции тоннелей имеют разные по типам агрегаты, их количество и потребляемую мощность.

**В современных условиях, когда стадия «Технико-экономическое обоснование» (ТЭО) отменена, основные проектные решения закладываются на стадии проектирования «Проект», как правило, по объектам аналогам 30–40-летней давности, изменить, которые при строительстве в соответствии с законом практически невозможно.**

Такое проектное решение значительно усложняет эксплуатацию сооружаемого объекта из-за применения неоднотипного оборудования, увеличивает эксплуатационные расходы и удорожает строительство.

На построенный в 2000 г. и существующий в настоящее время Мацестинский тоннель израсходовано на несущие конструкции 600 т арматуры.

По рабочей документации, разработанной Сочитранстоннельпроектом, на тоннель, расположенный в 60 м от существующего, требуется 2700 т арматуры (в 4,5 раза больше, чем на существующий). В разработанной Ленметрогипротрансом альтернативной документации предусмотрена укладка около 1200 т арматуры, которая обеспечит надежность и долговечность конструкций.

После неоднократного изменения физико-механических свойств грунтов вмещающего тоннель массива, что само по себе является странным явлением, Сочитранстоннельпроект выпустил документацию с общим расходом арматуры 1900 т.

Применяя для расчетов современный программный комплекс, исследуя конструкции Сочитранстоннельпроекта в общих выводах «Заключения по результатам проверочных расчетов постоянной обделки тоннеля № 1» ЦНИИСа, направленного 7.02.2011 г., записано, что при переходе армирования с диаметра 22 на 18 м

достигаются достаточная прочность и трещиностойкость обделки и экономия металла до 33 %.

Разница в величинах армирования заключается в том, что Ленметрогипротранс использовал в расчетах программы, основанные на методах решения задач теории упругости, разработанных профессорами, докторами технических наук Тульского политехнического университета Н. Н. Фотиевой и Н. С. Булычевым. Эти программы хорошо зарекомендовали себя на ряде объектов, таких как тоннели БАМа, на Дальнем Востоке, в Южном регионе, метрополитены Санкт-Петербурга, Казани, Челябинска и других городов нашей страны. Сочитранстоннельпроект, впервые участвуя в таком большом проекте, игно-



Таблица

Сравнение вентиляционного оборудования тоннелей дублера Курортного проспекта в г. Сочи. II, III очередь

Технические характеристики	Тоннели			
	3-3а	4-4а	5-5а	7-7а
Длина, м	660,79/683,5	668,4/669,4	670,5/695,7	804,23/824,21
Наименование вентиляторов	ILK-18,5/2	LK9-15/4	ILK-12/45/4	ILK-18,5/2
Количество, шт.	3×2 = 6	2×10 = 20	4×3 = 12	3×2 = 6
Мощность, кВт		300	45×12 = 540	
Расход воздуха, м³/с	192	176		192

рируя опыт строительства тоннелей № 1, 2, 6, автодороги обхода г. Сочи, Краснополянского тоннеля, в расчетах применил программу «Plaxis», которая, на мой взгляд, имеет ограниченное действие, в основном на припортовых участках.

Тем не менее, заказчиком – ДСД «Черноморье» принято решение строить по рабочей документации Сочитранстоннельпроекта, которая вызывает удорожание сооружения по сравнению со стадией «Проект» и увеличивает трудозатраты на возведение конструкций (что нарушает положение Федерального закона № 94).

Хочется остановиться еще на одной проблеме.

В практике тоннелестроения часто используется двухслойная конструкция – пер-

**По рабочей документации на тоннель, расположенный в 60 м от существующего, потребуется 2700 т арматуры (в 4,5 раза больше, чем на существующей).**

вичная крепь, воспринимающая горное давление и чистовая обделка.

В «Специальных технических условиях на проектирование и строительство автодороги дублера Курортного проспекта» в п. 8.1.3 записано, что «при проектировании обделок следует учитывать совместную их работу с окружающим массивом».

Таким образом, изменяемая во время проходки среда породного массива имеет право участвовать в работе конструкции, а рукотворная первичная обделка не может,

и она исключается из расчета (требование заказчика).

В первом приближении первичная обделка реализует в течение месяца восприятие горного давления и деформации прекращаются, поэтому постоянная несет только свой собственный вес и сейсмике.

Внедрение в расчеты учета совместной работы породного массива, первичной крепи и постоянной обделки значительно удешевляет стоимость строительства и достаточно серьезно снижает трудозатра-

ты на возведение такой комбинированной конструкции.

В заключение хочется отметить, что вышеназванные проблемы уже обсуждались на научно-техническом совете Тоннельной ассоциации России, где была дана положительная оценка предложениям строителей, поэтому хочется надеяться, что все новое, прогрессивное рано или поздно реализуется в виде легких, гибких, изящных тоннельных конструкций, способных конкурировать на международном уровне с ведущими тоннелестроительными предприятиями и, что самое главное, поможет сэкономить финансовые и временные ресурсы нашего государства.



# О КОМБИНИРОВАННЫХ ОБДЕЛКАХ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ИЗ НАБРЫЗГ-БЕТОНА С НАПЫЛЯЕМОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИЕЙ

(ПО МАТЕРИАЛАМ СЕМИНАРА В НОРВЕГИИ)

В. Е. Меркин, д. т. н., проф., директор филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»

15–16 марта 2011 г. в г. Торнхейм (Норвегия) подразделение подземного строительства концерна BASF – MEYCO Underground Construction провело Международный практический семинар для технических специалистов проектных организаций, заказчиков и подрядчиков.

Семинар был посвящен теории и практике применения набрызг-бетона и напыляемой мембраны MASTERSEAL 345 в постоянных обделках транспортных тоннелей. В его работе приняли участие около 100 представителей различных компаний всего мира, в том числе НИЦ «Тоннели и метрополитены» ЦНИИСа, ФГУП УС № 30, Ленметрогипротранса и Минскметропроекта. Все участники отметили высокий уровень организации семинара. Хорошо иллюстрированные доклады были представлены специалистами MEYCO, со стороны заказчика – Норвежских железных дорог, а также независимыми инжиниринговыми компаниями – MottMac-Donald. В выступлениях освещались принципиальные вопросы по теме устройства обделок тоннелей (гидроизоляции и т. д.), с изложением существа предлагаемого решения, условиями и примерами реализации. Особо следует отметить насыщенный план визита на тоннель, который включал встречу с руководителем проекта от подрядной компании «МКА», а также присутствие на нескольких участках тоннеля в момент выполнения всех видов работ (нанесение набрызг-бетона, напыление гидроизоляции и т. д.). При высокой активности участников давалось неограниченное время на вопросы и ответы как в аудиториях, так и в процессе посещения объекта строительства, что позволило подробно ознакомиться с весьма перспективным направлением в тоннелестроении.

Интерес к теме семинара вызван, прежде всего, поиском наиболее эффективных решений при устройстве водонепроницаемой обделки, к снижению трудозатрат и ускорению строительства тоннелей. Доклады европейских специалистов, занятых в тоннелестроении (химиков, проектировщиков, конструкторов, строителей, исследователей и т. д.), в комплексе с ознакомлением с процессом возведения обделки на строящемся однопутном железнодорожном тоннеле Gevingas длиной 4,3 км вблизи Торнхейма (рис. 1), позволили отчетливо увидеть идею и особенности предлагаемой конструкции, технологии ее возведения, а также – отличие от традиционных систем устройства гидроизоляции при NATM.

При обсуждении рассматриваемого решения выяснилось также, что применение напыляемой мембраны MASTERSEAL 345 сейчас особенно актуально в Норвегии, т. к. здесь в текущем году вступают в силу новые

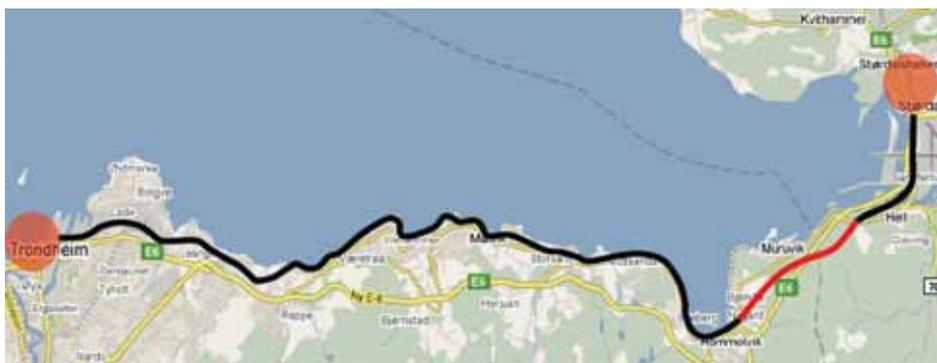


Рис. 1. Трасса однопутного железнодорожного тоннеля Gevingas длиной 4,3 км вблизи г. Торнхейма (отмечена красным)

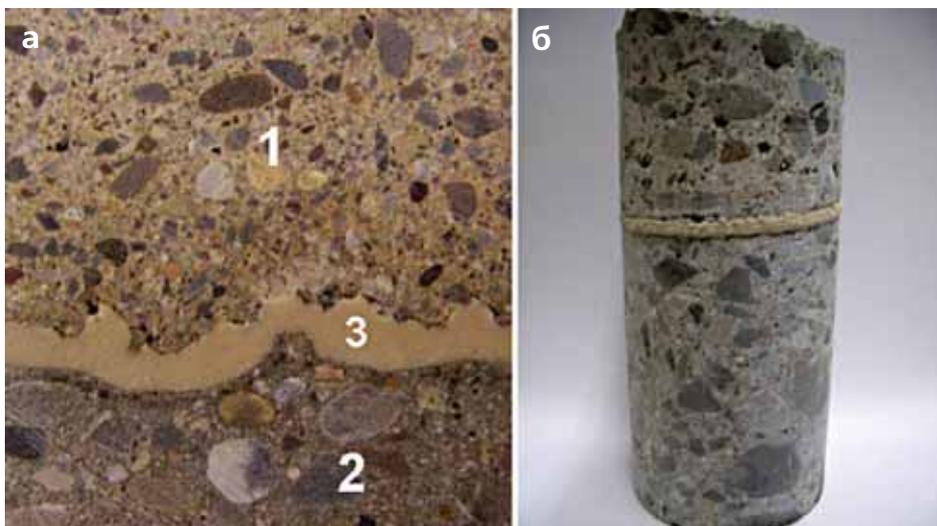


Рис. 2. Конструкция обделки: 1 – наружный слой бетона; 2 – внутренний слой; 3 – слой напыляемой гидроизоляции MASTERSEAL 345 (BASF)

нормы по гидроизоляции, в которых привычная листовая полиуретановая гидроизоляция теперь не соответствует требованиям по пожаробезопасности (во время нагрева выделяются вредные пары).

Рассмотренная конструкция обделки выполняется двумя слоями бетона (рис. 2): наружным и внутренним (как правило, из набрызг-фибро-бетона), объединенных между собой слоем напыляемой гидроизоляции MASTERSEAL 345 (BASF).

Основу MASTERSEAL 345 составляет мелкодисперсный органический полимер и цементное вяжущее, совместная работа которых обеспечивает необходимые конструктивные и технологические свойства (табл.).

В частности это:

- высокие показатели водонепроницаемости;

- адгезия к первичному и вторичному, внешнему, слою бетонной обделки не менее 0,5 МПа;

- отсутствие отскока и пыления;

- высокая безопасность – не требуется специальных средств защиты;

- эластичность – удлинение без разрыва (широкие допустимые интервалы деформирования совместно с конструкцией без нарушения сплошности);

- хорошее заполнение раковин и трещин в первичном слое набрызг-бетона;

- возможность до возведения вторичной обделки точного определения места протечки и, соответственно, адресного ремонта гидроизоляции;

- использование простого оборудования для «сухого» набрызг-бетонирования.

Таблица

Свойства	Метод испытания	Значение
Паропроницаемость	DIN 52 615	$150 \leq \mu \leq 300$
Прочность при растяжении	ASTM D638M DIN 53504 Тип S2 BS EN 180527-2	При 20 °С – до 4,0 МПа Может снижаться до 0,6 МПа при насыщении водой
Удлинение (эластичность)	ASTM D638M DIN 53504 Тип S2	80–140 % (при -20...+20 °С)
Пожаробезопасность	DIN 4102	B2 (не поддерживает горение и не выделяет токсичных веществ)
Прочность сцепления к слоям обделки (адгезия)	ASTM D 4541-02	> 0,5 МПа
Перекрытие трещин	Стойкость к сульфатам	> 2 мм
Стойкость к грунтовым водам	Стойкость к сульфатам Стойкость к кислотам и щелочам	Определяется в соответствии с местными геологическими данными
Сертификат на контакт с питьевой водой	BS 6920	Требуется, когда мембрана контактирует с питьевой водой



Рис. 3. Локальный дренаж

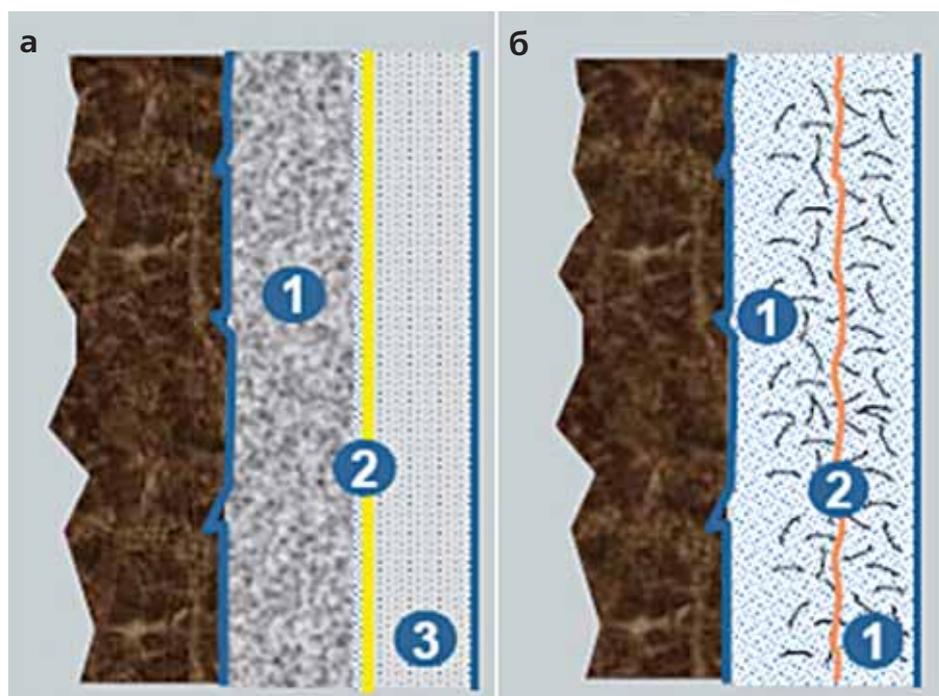


Рис. 4. Схема обделки: а – традиционной: 1 – временная крепь набрызг-бетоном; 2 – геотекстиль + листовая мембрана; 3 – постоянная монолитная обделка; б – комбинированной: 1 – постоянная крепь набрызг-бетоном; 2 – напыленная мембрана MASTERSEAL 345; 3 – внутренний слой обделки из набрызг-фибро-бетона

Мембрану напыляют на сухую или влажную поверхность. При наличии водопроявлений в виде капелек или течей через первичную обделку на ней устраивается локальный дренаж (от протечек вода полиэтиленовыми шлангами или полосками холста отводится в дренажный лоток), после чего наносят мембрану MASTERSEAL 345, а затем возводят слой вторичной обделки из набрызг-фибро-бетона (рис. 3–4).

Рис. 4 иллюстрирует различие традиционной для технологии NATM и новой конструкции. В традиционной, в которой внутренний и наружные слои обделки разделены пленочной гидроизоляцией и геотекстилем, слои обделки работают раздельно (рис. 4а).

В комбинированной обделке с напыляемой мембраной оба слоя работают совмест-

но (рис. 4б), что обеспечивает более высокую несущую способность.

Геологические условия тоннеля Gevingas (прочность породы выше прочности применяемого бетона) обусловили выбор соответствующего вида обделки – по типу «зонты» при сохранении неровного контура поверхности (рис. 5).

#### Заключение

На семинаре было убедительно показано, что одним из современных и весьма перспективных направлений повышения эффективности строительства транспортных тоннелей в мировой практике, реализованных на объектах различного назначения (метрополитен, автодорожные и железнодорожные тоннели), является применение многослойных комплексных обделок. Особым их

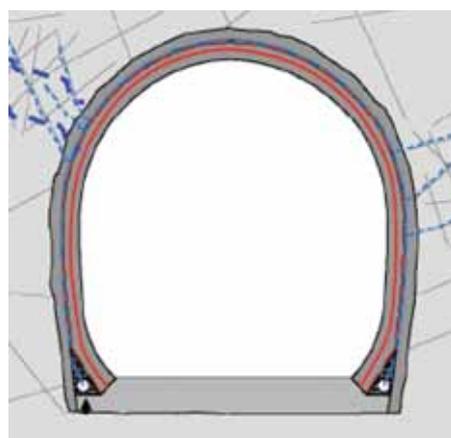


Рис. 5. Конструкция обделки по типу «зонты»

преимуществом является совместная работа первичной (временной) и вторичной крепи, что стало возможным благодаря высокой адгезии напыляемой эластичной мембраны.

Данное направление в полной мере соответствует проводимой с начала 80-х гг. XX в. работе НИИЦ «Тоннели и метрополитены» ЦНИИС и ряда отечественных тоннелестроительных организаций по учету временной набрызг-бетонной крепи в расчетах постоянных обделок.

Успешный отечественный и мировой опыт использования многослойных (комплексных) обделок, большие объемы сооружения тоннелей в нашей стране в настоящее время и в ближайшем будущем, а также наличие соответствующих положений в действующих нормативных документах (СНиП 32-02-2003 «Метрополитены», СНиП 32-04-97 «Тоннели железнодорожные и автодорожные», ВСН 126-90 «Нормы проектирования и производства работ по креплению выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей») определяют актуальность и целесообразность распространения в России рассматриваемой технологии.

При этом уже сейчас имеется возможность использовать имеющиеся отечественные наработки по расчетам конструкций, составам набрызг-бетона и технологии работ.



# ПОВЫШЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ТОННЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЯХ



С. Ю. Шибяев, технический директор направления «Ремонт и защита бетона» ООО «MC-Bauchemie»

**П**роблематика повышения огнестойкости железобетонных конструкций чрезвычайно важна для обеспечения безопасности эксплуатации сооружений различного типа. Предел огнестойкости конструкций по несущей способности должен обеспечить достаточное количество времени для эвакуации людей. Поэтому очень важно уделять этому вопросу повышенное внимание при проектировании и строительстве объектов. Вопросы обеспечения требуемого класса огнестойкости конструкций также следует учитывать при выборе материалов в случае проведения ремонта железобетонных элементов обделки. При этом речь может идти о восстановлении, а в некоторых случаях и о повышении предела огнестойкости конструкций.

В этой связи отдельно следует выделить тоннельные объекты, поскольку они требуют особого подхода, т. к. пожар в них развивается по другим законам в сравнении с остальными зданиями и сооружениями.

Для промышленных и гражданских зданий огнестойкость конструкций определяется с использованием стандартной температурной кривой развития пожара, которая описывает процесс развития во времени температурной нагрузки от момента возникновения пожара до полного его окончания. Для таких строений температура в очаге пожара, например, только через 90 мин может достигать примерно 1000 °С (рис. 1).

Тоннели – это протяженные сооружения, как правило, имеющие большую глубину заложения. Поэтому требуют целого комплекса противопожарных мероприятий. Очень важен вопрос сохранения несущей способности ограждающих конструкций, поскольку тоннели конструктивно представляют собой протяженную трубу, которая создает эффект «камина», а отвод тепла и дыма весьма ограничен. Соответственно в очаге пожара температурная нагрузка повышается очень быстро и достигает чрезвычайно высоких значений.

Существуют различные ведомственные кривые развития пожара в тоннелях (рис. 2), которые зависят от основного вида транспорта (грузовые машины, поезда и т. п.), являющегося источником пожара. Эти кривые описывают максимальные температуры в зоне пожара с учетом продолжительности их воздействия. Температуры определяются на основе замеренных временных параметров всех пожарных испытаний для отдельных видов транспорта. На основе этих кривых определяются огнезащитные параметры конструкций в тоннелях.

Но все пожарные кривые объединяет характерный для тоннелей быстрый набор температуры. По всем сценариям развития пожара возрастание температуры до 1000 °С занимает считанные минуты, что негативно действует на бетонные конструкции тоннелей. Связанная в теле бетона влага испаряется и выходит наружу. Если создаваемое давление водяного пара не может быть компенсировано, то происходит взрывное отслоение бетона, которое может распространиться до арматуры. Если она оголяется, то температурная нагрузка начинает действовать на нее беспрепятственно. Как следствие, происходят пластические деформации арматуры и снижение их прочностных параметров, что создает опасность для статического равновесия конструкции. Поэтому основной принцип повышения их огнестойкости заключает-

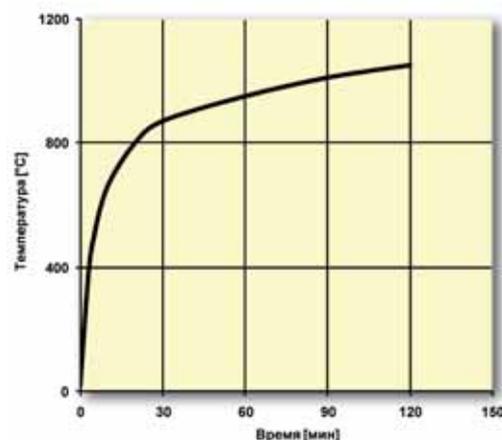


Рис. 1. Стандартная кривая развития пожара

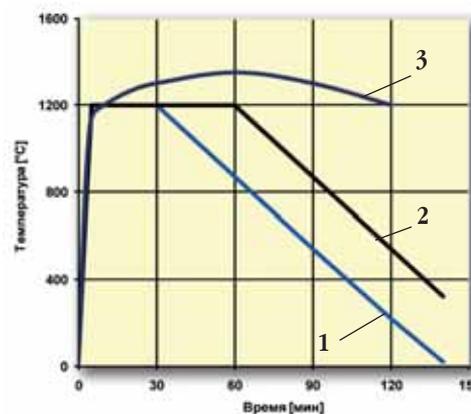


Рис. 2. Кривые развития пожара в тоннелях согласно: 1 – немецким нормам для инженерных сооружений ZTV-ING; 2 – нормам обслуживания и эксплуатации автотоннелей RABT; 3 – нормам Агентства гидротехнических сооружений Голландии RWS

Таблица 1

Развитие температурной нагрузки по кривой RWS

Время, мин	Температура, °С
0	Комнатная
3	890
5	1140
10	1200
30	1300
60	1350
90	1300
120	1200

Таблица 2

Результаты испытаний по кривой RWS

Параметр	Требование	Результат	Заключение
Отслоения	отсутствуют	отсутствуют	соответствует
Граница Nafufill KM250/ бетон	380 °С	267 °С	соответствует
Температура несущей арматуры	250 °С	На глубине 25 мм от границы Nafufill KM250/ бетон T=112°С	соответствует
		На глубине 60 мм от границы Nafufill KM250/ бетон T=106°С	



Рис. 3. Испытательный стенд



Рис. 4. Контроль температуры на стенде



Рис. 5. Образец во время испытаний

ся в защите бетона и стальной арматуры от нагрева до высоких температур.

Компания «МС-Vauchemie» уже несколько лет поставляет на российский рынок ремонтный состав Nafufill KM250, который отличается своей универсальностью. Это минеральная система на основе цементного вяжущего, усиленная полимерной фиброй, позволяющая выполнять ремонт железобетонных конструкций как на вертикальных, так и на потолочных поверхностях, вручную или машинным набрызгом. Этот материал применяется для решения всех видов задач: от ремонта защитного слоя бетона до восстановления несущих параметров конструкции, т. е. этот материал может быть включен в статический расчет конструкции. При этом обеспечиваются все требования по их огнестойкости как в гражданских и промышленных сооружениях, так и в тоннелях.

По классу пожарной опасности Nafufill KM250 относится к негорючим материалам (НГ). Он обеспечивает восстановление или повышение огнестойкости железобетонных конструкций по несущей способности до класса R90.

Nafufill KM250 прошел испытания в соответствии с основными кривыми развития пожаров в тоннелях. А в мае 2010 г. в штольнях Hagerbach AG (Швейцария) были проведены дополнительные испытания материала в соответствии с кривой Агентства гидротехнических сооружений Голландии (RWS). RWS имеет самые жесткие в Европе требования по огнезащите конструкций в тоннелях. Кривая имитирует возгорание бензовоза с прицепом, перевозящим 50 м<sup>3</sup> (50 тыс. л) бензина. Пожарная нагрузка составляет 300 МВт в течение 120 мин. Уже через 5 мин температура достигает 1200 °С и сохраняется в течение 2 ч, достигая 1350 °С и вновь снижаясь до 1200 °С (табл. 1).

Для проведения испытаний были изготовлены бетонные плиты размером 1600×1800×300 мм. После их вы-

держки в течение 28 сут провели струйную обработку водой под давлением и нанесли защитный слой материала Nafufill KM250 толщиной 60 мм.

После монтажа образца в испытательную печь (рис. 3) достигалась требуемая температурная нагрузка (рис. 4 и 5). Основными критериями прохождения испытания было отсутствие отслоений как в защитном материале, так и в теле бетона, а также обеспечение достаточной термоизоляции для сохранения арматуры в рабочем состоянии.

В результате испытаний не было зафиксировано нарушения адгезии между защитным покрытием и бетоном, а также их разрушений (рис. 6). Замеряемая температура на поверхности бетона под защитным покрытием составила 267 °С при допустимом значении 380 °С, на глубине 25 мм от поверхности бетона – 112 °С при допустимом значении 250 °С (табл. 2).

Пройдя эти пожарные испытания, материал Nafufill KM250 подтвердил свою универсальность, которая позволяет повышать огнестойкость железобетонных конструкций, а при проведении ремонтных работ восстанавливать как статические параметры конструкции, так и ее огнестойкость, независимо от того, идет ли речь о промышленных и гражданских или о транспортных сооружениях, включая тоннели различного назначения.

Немаловажным фактором является то, что компания «МС-Vauchemie» с 2009 г. наладила выпуск ремонтного состава Nafufill KM250 также и в России (г. Кировск, Ленинградская обл.), что позволяет оперативно обрабатывать заказы и поставлять материалы в нужном количестве в любой регион России.



Рис. 6. Образец после испытаний



# ЕЩЕ РАЗ О ПРИМЕНЕНИИ НАБРЫЗГ-БЕТОНА И НОВОАВСТРИЙСКОГО МЕТОДА (НАТМ) В ОТЕЧЕСТВЕННОМ ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

Д. М. Голицынский, проф. Петербургского государственного университета путей сообщения, д. т. н.

**Обращение к этой теме связано с тем, что, несмотря на то, что применение набрызг-бетона в нашей стране относится еще к 1960 г., до настоящего времени широкого распространения этот эффективный способ бетонирования в отечественном тоннелестроении не получил. Область распространения набрызг-бетона ограничивается, в основном, сооружением горных выработок в крепких скальных грунтах в качестве временной крепи. Опыт использования набрызг-бетонных обделок в слабых грунтах и Новоавстрийского метода очень небольшой и носит бессистемный случайный характер.**

**Автор в этой статье хочет еще раз напомнить читателям о возможностях и перспективах применения этого способа бетонирования и новых технологиях сооружения тоннелей и наметить пути их широкого внедрения в практику отечественного тоннелестроения.**

**С**начала несколько общих положений и краткий обзор применения набрызг-бетона.

В настоящее время он успешно и широко используется в наиболее развитых странах мира (Австрия, Германия, Швейцария, Италия, США, Япония, Швеция, Норвегия, Англия и др.) для закрепления подземных выработок, обеспечивая безопасность ведения работ и экономию средств. Набрызг-бетон является основным элементом при наиболее современном способе строительства тоннелей – Новоавстрийском методе (НАТМ). Диапазон его практического применения широк – от скальных трещиноватых до слабоустойчивых грунтов. Набрызг-бетон используется в строительстве для омоноличивания стыков сборных конструкций, создания тонких перекрытий сложной конфигурации, ремонта и устранения дефектных мест железобетонных элементов, закрепления котлованов, создания разнообразных декоративных покрытий.

Однако наибольшее распространение набрызг-бетон получил в тоннелестроении, где наиболее полно проявляются его преимущества, которые заключаются в следующем:

- уменьшение сечения выработки и объема выполняемых работ за счет сокращения толщины обделки;
- отказ от опалубки и уплотнения материала после его нанесения на бетонируемую поверхность;
- исключение процесса нагнетания цементно-песчаных растворов за обделку при обеспечении плотного контакта набрызг-бетона с грунтом;
- сокращение объема материалов (особенно лесоматериалов) и уменьшение транспортных расходов;
- создание при необходимости комбинированных эффективных конструкций из набрызг-бетона в сочетании с другими видами крепи (анкера, арки, металлическая сетка);
- устройство долговечной конструкции обделки, обеспечивающей требуемый срок службы тоннельных сооружений;

- создание плотного водонепроницаемого покрытия, являющегося видом жесткой гидроизоляции;

- отказ от громоздкой системы временной (деревянной) крепи и возможность быстрого закрепления грунта набрызг-бетоном непосредственно у забоя, что позволяет увеличить производительность горных машин и механизмов путем наиболее полного использования всего сечения выработки;

- возможность механизировать и автоматизировать процесс нанесения набрызг-бетона, что особенно важно для закрепления выработок переменного сечения и сложной конфигурации, в том числе и армированных конструкций (фибро-набрызг-бетон);

- улучшение условий труда, техники безопасности и возможность перехода на прогрессивные способы сооружения тоннелей (НАТМ);

- хорошее сопротивление конструкций воздействию динамических нагрузок.

Основными недостатками процесса нанесения (торкретирования) набрызг-бетона являются:

- отскок материала (в основном крупного заполнителя) в процессе нанесения на бетонируемую поверхность, количество которого составляет от 10 до 25 % в зависимости от положения бетонируемой поверхности (свод, стены) и параметров технологии нанесения;

- пылеобразование, что требует применения индивидуальных средств защиты и эффективной системы вентиляции в подземных условиях.

Полностью избавиться от этих недостатков невозможно, но с помощью рациональных мероприятий (выдерживания оптимальных технологических параметров нанесения, уменьшения количества крупного заполнителя, подачи воды в материальный шланг за несколько метров до вылета материала из сопла при «сухом» способе нанесения) можно значительно их сократить.

При возведении набрызг-бетонного покрытия используются два способа нанесения: «сухой» и «мокрый».

Первый обеспечивает высокую скорость вылета бетонной смеси (45–50 м/с) из сопла с минимальным количеством воды, что позволяет получить плотный материал высокого качества. В то же время этот способ характеризуется большим количеством отскока (до 20–25 %) и повышенным пылеобразованием. Нанесение набрызг-бетона должно производиться рабочим-сопловщиком высокой квалификации. Такой способ нанесения вручную используется, в основном, при небольших объемах работ, особенно при нанесении на слабые грунты осадочного происхождения, а также при частых остановках работы.

«Мокрый» способ позволяет обеспечить более точную дозировку исходных компонентов, воды и добавок, сокращает количество «отскока» при нанесении и пылеобразование, что позволяет улучшить условия работы обслуживающего персонала. Однако «мокрый» способ требует применения более высокого содержания воды, скорость вылета материала из сопла ниже (5–7 м/с) чем при «сухом» способе, что снижает конечную прочность и водонепроницаемость набрызг-бетона. Кроме того, при данном способе используется более дорогое и сложное оборудование, требуется периодическая очистка насоса и трубопровода от бетонной смеси при длительных остановках и после окончания работы.

«Мокрый» способ целесообразен в тоннелестроении в скальных грунтах, когда имеется большой фронт работ, используются механизмы (манипуляторы) по нанесению набрызг-бетона, что позволяет вести работы длительное время без перерывов.

Первые шаги по использованию набрызг-бетона в нашей стране относятся к 1959 г., когда под руководством канд. техн. наук В. М. Мосткова проводились работы по закреплению шинно-грузового тоннеля подземной Храм ГЭС-11 и испытанию опытного образца отечественной набрызг-бетонмашины С-630.

С 1960 г. начинается внедрение набрызг-бетона на объектах подземного гидротехнического строительства (Ялтинский гидротехнический тоннель, комплекс подземных сооружений Нурекской, Ингурской, Чиркейской и Хантайской ГЭС, Дангаринский гидротехнический тоннель и др.) и горно-рудной промышленности (шахты Донбасса, Кузбасса и др.). В 1968 г. в г. Тбилиси на опытном участке перегонного тоннеля метрополитена сооружается обделка из набрызг-бетона и железобетонных анкеров.

Применялся он и при строительстве Расвумчоррского и Меградзорского железнодорожных тоннелей, Гимринского автодорожного тоннеля. Рядом институтов и научных организаций (Оргэнергострой, ЛИИЖТ, ЦНИИС, МГИ, ТПИ) проводятся теоретические, экспериментальные и натурные исследования. Ведется разработка комплексной механизации всего технологического процесса по нанесению набрызг-бетона, совершенствование методов расчета и создание нормативных документов. Набрызг-бетон успешно применяется при строительстве Байкальского железнодорожного тоннеля на БАМе.

Однако все эти работы осуществлялись в крепких скальных грунтах.

Первые комплексные исследования (теоретические, модельные, натурные) по закреплению горных выработок набрызг-бетоном в слабых грунтах (про-

терозойские и спондиловые глины) были проведены в 1975–1978 гг. кафедрой тоннелей и метрополитенов ЛИИЖТа на объектах Ленметростроя и Киевметростроя. На основе натурных и экспериментальных исследований были разработаны «Временные технические указания по применению набрызг-бетона для крепления горных выработок, сооружаемых в протерозойских глинах» (1978).

В это же время в лаборатории моделирования тоннелей ЛИИЖТа проводились исследования работы набрызг-бетонных обделок на моделях из эквивалентных материалов для выработок пролетом от 3,2 до 6 м в грунтах различной крепости с учетом особенностей технологии нанесения, конструктивных особенностей обделок и принятых способов производства работ. Исследования на моделях из эквивалентных материалов позволили установить ряд зависимостей, позволяющих сделать выбор конструкции обделок и методы их возведения, а также рекомендовать область применения в слабых грунтах ( $f \geq 1$ ), в которых время, обеспечивающее устойчивость забоя незакрепленной выработки, составляет приблизительно одни сутки и достигается плотное сцепление набрызг-бетона с грунтом.

Состояние первой опытной выработки с обделкой из набрызг-бетона (толщина 10–15 см), сооруженной в 1975 г. на Ленметрострое вблизи вентиляционной

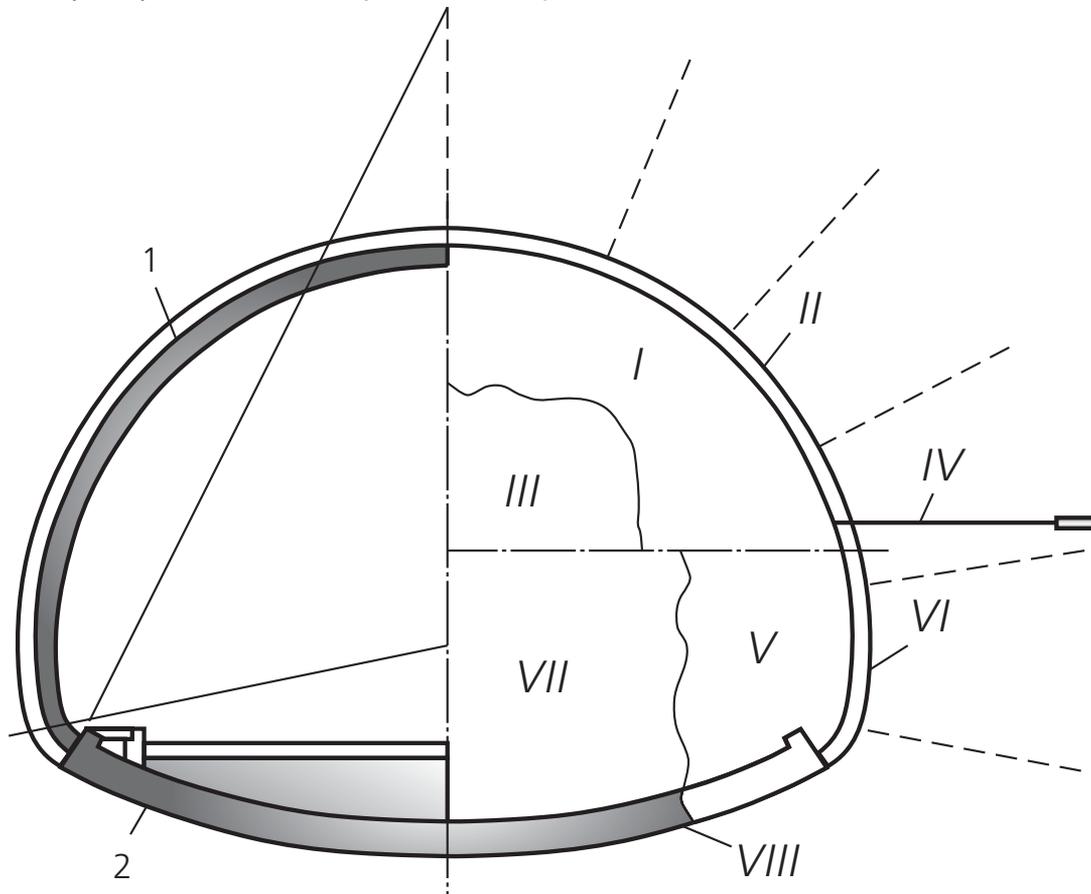
шахты у станции «Академическая», неоднократно комиссионно обследовалось (1976, 1996, 1997, 2007 гг.). В результате было установлено:

- каких-либо значительных повреждений, которые могли бы привести к отказам обделок, не обнаружено;
- все выявленные дефекты можно отнести к локальным малозначительным нарушениям;
- дальнейшая эксплуатация выработки с обделкой из набрызг-бетона возможна.

К сожалению, по ряду причин, дальнейшего серьезного развития положительный опыт возведения обделок из набрызг-бетона не получил. Только в 2007 г. в соответствии с «Комплексной программой работ по разработке и внедрению новых конструктивно-технологических решений с применением набрызг-бетонной крепи и опережающих забой инъекционных анкеров при строительстве подземных выработок Санкт-Петербургского метрополитена» Ленметрогипротрансом, Метростроем и кафедрой тоннелей и метрополитенов СПбГУПС была сооружена эвакуационная сбойка с обделкой из набрызг-бетона на участке от ст. «Волковская» до ст. «Обводный канал».

На основании проведенных натурных исследований (геотехнический мониторинг) и осмотра готовой выработки был сделан вывод о возможности и целесообразности использования набрызг-бетона в качестве постоянной тоннельной кон-

Рис. Последовательность работ при способе NATM: 1 – несущая обделка; 2 – обратный свод



струкции (обделки) для вспомогательных выработок, сооружаемых в плотных протерозойских глинах.

Полученные результаты дают основание говорить о возможности применения набрызг-бетонных тоннельных обделок в широком диапазоне пород, но для этого необходимо создать соответствующую нормативную базу.

В начале 60-х гг. в Австрии был разработан (Л. Мюллер, Л. фон Рабцевич, Ф. Пахер и др.) новый способ проходки горных выработок и тоннелей, основанный на активном использовании набрызг-бетона и анкерной крепи, который стал называться Новоавстрийским (НАТМ) или способом ядра с податливой оболочкой, что отражает его сущность. Уже в 80-е гг. он получил широкое распространение во многих странах мира, обеспечивая минимальные осадки дневной поверхности, надежность, гибкость (возможность использования его в грунтах различной крепости) и экономичность конструкции.

Способ НАТМ заключается в фиксированной системе периодических измерений деформаций набрызг-бетонного слоя и величины горного давления, что позволяет судить о совместной работе окружающего выработку грунтового массива и системы крепи и оперативно принимать технические решения по изменению, в случае необходимости, конструкции крепи выработки.

При использовании способа НАТМ разработку грунта выработки (см. рис.) ведут по контуру свода (I) и стен (V), оставляя нетронутым центральную часть (ядро) (III-VII) для поддержания забоя. По мере разработки грунта устанавливаются анкера, и наносится слой набрызг-бетона, которые образуют незамкнутую податливую оболочку (крепь), способную деформироваться без разрушения, приспосабливаясь к изменяющимся напряжениям, возникающим по контуру выработки. Такая оболочка, поддерживающая контур выработки, деформируется вместе с ним, не допуская обрушения грунта. После разработки ядра (VII-VIII) бетонируется обратный свод, и через три-пять месяцев после его замыкания, когда деформации оболочки практически заканчиваются, возводят несущую обделку из монолитного бетона с устройством гидроизоляции.

В настоящее время количество подземных объектов, возведенных по способу НАТМ, все время увеличивается. Так, в Японии к концу 80-х гг. уже было построено около 450 тоннелей по этому способу.

Первым опытом использования НАТМ в России является закрепление участка тоннеля (ускоритель элементарных частиц) в г. Протвино в 1990 г., когда был заключен контракт с австрийской фирмой «Бетон унд Монирбау», который предус-

матривал поставку полного комплекта оборудования для проходки и нанесения набрызг-бетонной крепи, аппаратуру геомеханического контроля, обучение инженерно-технического персонала и участие на первом этапе работы австрийских специалистов.

Тоннель представлял собой выработку пролетом 8,46 м и высотой 7,6 м подковообразного очертания, сооружаемую на глубине около 50 м в глинах с прослойками водонасыщенного известняка. Проходка осуществлялась способом нижнего уступа с разработкой грунта комбайном «Паурат-242». В качестве комбинированной крепи использовались набрызг-бетон толщиной 32 см (18+14 см), решетчатые арки с шагом 1 м, металлическая сетка и анкера.

Предусматривалось, что покрытие из набрызг-бетона создает породобетонную податливую конструкцию, арки обеспечивают необходимую прочность и жесткость обделки, а анкера активизируют совместную работу породного массива с тоннельной обделкой.

Для измерения деформаций крепи и величины горного давления через каждые 200 м предполагалось устройство замерных станций с соответствующей контрольно-измерительной аппаратурой, работающей в автономном режиме.

В процессе строительства существенных отклонений от принятой технологии производства работ не наблюдалось. В дальнейшем проходка велась силами Тоннельного отряда.

Однако в конце 1991 г. произошло обрушение элементов набрызг-бетонной крепи и грунта в выработку. Такая аварийная ситуация была вызвана следующими причинами:

- резким ухудшением инженерно-геологических условий, связанных с обводнением грунта и неравномерным возрастанием горного давления по трассе тоннеля;
- нерациональным изменением поперечного сечения тоннеля подковообразного очертания, заключающемся в устройстве прямых стен вместо запроектированных криволинейных;
- недостаточным контролем над соблюдением технологии нанесения набрызг-бетона, что привело к потере сцепления покрытия как с грунтовой поверхностью выработки, так и между слоями самого материала;
- отсутствием проведения своевременных мероприятий по усилению временной крепи в процессе строительства, несмотря на показания датчиков замерной станции;
- значительным отставанием возведения постоянной монолитной замкнутой обделки от рекомендуемого проектного расстояния (не более 100 м от забоя); необходимо было производить процесс в течение одного-трех месяцев, а реаль-

но этот срок увеличивался до пяти-шести месяцев.

Из опыта мирового тоннелестроения известно, что в начальный период внедрения НАТМ в Австрии, Германии, Англии и других странах также возникали подобные аварийные ситуации, пока строители не приобрели соответствующий практический опыт.

Учитывая, что это был первый опыт промышленного (а не опытного) внедрения НАТМ в практику отечественного тоннелестроения, можно считать, что такая авария представляет собой достаточно закономерную ситуацию, из которой необходимо сделать соответствующие выводы.

В настоящее время в нашей стране выполнены отдельные участки тоннелей с использованием элементов НАТМ (перегонный тоннель длиной 1300 м на Мосметрострое, сооружение участка станции метро «Геологическая» в Екатеринбургe), а также строительство автодорожного тоннеля в г. Уфе и транспортных тоннелей в районе г. Сочи.

Таким образом, объективные предпосылки для широкого внедрения способа НАТМ в практику отечественного тоннелестроения имеются.

Что для этого надо сделать? Необходимо при крупных организациях, занимающихся подземным строительством, создать специализированное подразделение, которое следует обеспечить современными машинами и механизмами для нанесения набрызг-бетона (например, роботы-агрегаты), а также высокопроизводительным проходческим оборудованием (комбайны избирательного действия и др.). Предусмотреть создание бетонной лаборатории для подбора оптимального состава набрызг-бетона (включая добавки-ускорители) и проведения контроля качества нанесенного покрытия. Кроме того, надо разработать и освоить программу геотехнического мониторинга при сооружении подземных выработок методом НАТМ, которая позволяла бы определять основные характеристики тоннельной конструкции, изменяя при необходимости в процессе строительства ее параметры. Наиболее важным вопросом является обеспечение высоких технологических требований при использовании элементов крепи, входящих в НАТМ.

Особое внимание следует обратить на повышение профессионального уровня рабочих и инженерно-технических работников, непосредственно занимающихся вопросами внедрения НАТМ в подземное строительство. При выполнении этих условий можно надеется, что в ближайшем будущем эта прогрессивная технология будет распространяться и получит широкое распространение в отечественном тоннелестроении.



# ТОННЕЛЬНЫЙ АВТОПОЕЗД TSP

TSP – это транспортное средство на резиновых шинах, способное доставить в строящийся тоннель: комплект блоков для одного кольца; один смеситель–ный бункер объемом 12 м<sup>3</sup>.

По желанию, на платформе можно установить гидравлически управляемый кран, стрелу с ковшом, вагончик для 20-ти человек.



## Основные технические данные TSP

Диаметр тоннеля: от 6 до 15 м  
Грузоподъемность: от 60 до 160 т  
Вес: от 25 т  
Ширина: от 1.70 м  
Радиус поворота: 50 м  
Макс. скорость вверх по уклону 5,5 %: 15 км/ч  
Макс. скорость по горизонтальному полу в нагруженном состоянии: 16 км/ч  
Макс. скорость в ненагруженном состоянии: 18 км/ч  
Двигатель: CAT C9.3 242 кВт при 2100 об/мин.

**TSP – это автотранспортное средство, имеющее множественный привод и характеризующееся хорошим сцеплением с дорогой и трансмиссией с максимальным крутящим моментом.**

Использование резиновых шин позволяет: уменьшить затраты на топливо, вентиляцию, рельсы и их содержание; сократить срок ввода тоннеля в эксплуатацию; работать совершенно безопасно.

TSP обеспечивает: повышенную безопасность против скольжения; возможность преодолевать участки с большим уклоном; более надежную и управляемую тормозную систему.

Множественный привод, независимая подвеска, система противоскольжения обеспечивают: способность двигаться по сильно загрязненной поверхности (бентонит, грязь, вода); способность двигаться по неровной поверхности (изменение уклона, разница уровней блоков в стыке, ступеньки); способность преодолевать ступеньки высотой около 150 мм; уменьшенную нагрузку на колеса; отличную приспособляемость к условиям в тоннеле и на поверхности.

Коэффициент использования на известных нам строительных объектах: 95 %.



ZI La Saule BP 111  
FR-71304 Montceau cedex, France

Tel : +33(0)3 85 57 01 34  
Fax : +33(0)3 85 57 88 73  
info@metalliance-tsi.com  
www.metalliance-tsi.com

**Представительство в России:**  
107078, Москва,  
ул. Новорязанская, 16, оф. 20  
Тел.: (495) 724-74-81  
Факс: (499) 265-79-5  
e-mail: metrotunnels@yahoo.com

# ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФОРСУНОК ДЛЯ СТРУЙНЫХ МОНИТОРОВ

А. П. Вакутин, к. т. н., А. Г. Малинин, к. т. н., А. Н. Смирнов, ООО «Специальная строительная техника»  
Д. А. Малинин, аспирант ПГТУ

**Технология струйной цементации грунтов находит все большее применение при решении различных задач подземного строительства: укрепление грунтов вокруг тоннелей, устройство вертикальных и горизонтальных противофильтрационных завес при разработке глубоких котлованов, устройстве фундаментов и т. д.**

**Одним из наиболее важных узлов технологического оборудования, определяющим эффективность струйной цементации, является форсунка монитора. В настоящей статье обсуждаются различные типы цементных форсунок, приводятся результаты экспериментальных исследований эффективности изделия.**

## Технологии изготовления форсунок

Форсунка является устройством, преобразующим потенциальную энергию высокого давления цементировочного насоса в кинетическую энергию струи цементного раствора. Современные цементировочные насосы развивают давление до 60 МПа при расходе раствора 200–400 л/мин, что позволяет разогнать цементную струю до скорости 210–250 м/с.

Кинетическая энергия струи определяет объем размываемого грунта вокруг скважины и, в конечном итоге, диаметр грунтоцементных свай.

Высокое давление и абразивное воздействие, присущие цементной струе, обуславливают материалы и конструкции современных форсунок для однокомпонентной технологии Jet1 и двухкомпонентной Jet2. Форсунка выполняется из двух деталей: – наружная, называемая корпусом, выполняется из конструкционной стали, а внутренняя, называемая втулкой, изготавливается из износостойкого материала на основе карбидов вольфрама, кремния или бора (рис. 1).

Корпус служит для закрепления форсунки в мониторе и является опорным элементом для втулки. Сопло форсунки оформляет диаметр выходящей цементной струи.

В качестве материала втулки обычно применяют твердый сплав на основе карбида вольфрама, получаемый по технологии порошковой металлургии. Данный сплав, имея высокую твердость 87–92 HRA, обладает высоким сопротивлением механическому сжатию и высокой износостойкостью.

В качестве связующего материала используют кобальт. Карбид вольфрама при высоких температурах активно растворяется в нем, образуя эвтектику, которая смачивая частицы карбида вольфрама, вызывает их перемещение, что способствует созданию компактного материала из порошковой заготовки. Варьируя объемную долю связующего металла в пределах 6–10 %, можно получить оптимальное сочетание необходимой твердости и прочности сплава.

Температура спекания порошковых композиций на основе карбида вольфрама составляет 1380 °С, что намного ниже температуры спекания твердых сплавов других ма-

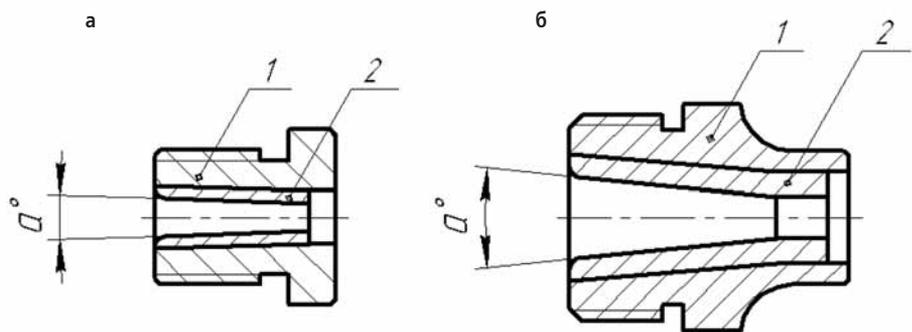


Рис. 1. Форсунка в сборе: а – форсунка для технологии Jet1; б – форсунка для технологии Jet2; 1 – корпус; 2 – втулка из твердого сплава

рок. Например, на основе карбид титана она составляет 1500 °С, а на основе карбида кремния и карбида бора – 2000–2500 °С. Повышение температуры спекания требует больших затрат электроэнергии и, главное, более дорогостоящего технологического оборудования.

Корпус форсунки в штатном варианте изготавливают из калиброванного шестигранного профиля – для форсунки Jet1 с размером под ключ 17 мм, а для Jet2 – 22 мм.

Использование шестигранного профиля экономит ресурсы по механической обработке, однако в этой технологии имеется ряд трудно решаемых проблем. Одна из них – подгонка втулки к корпусу по конической поверхности. Данная операция не поддается автоматизации, выполняется вручную и требует больших временных затрат.

Следующая проблема связана с закреплением втулки в корпусе. Наиболее просто ее можно зафиксировать с помощью эпоксидного клея. Однако в процессе работы форсунка разогревается, эпоксидный клей размягчается, что значительно снижает ее живучесть.

Более надежным вариантом закрепления втулки является пайка. Этот процесс требует специального оборудования и материалов в виде припоя, что приводит к существенному удорожанию изделия.

Вторым недостатком использования шестигранного профиля является ненадежность уплотнения места посадки форсунки в мо-

ниторе. Часто уплотнительная медная шайба не перекрывает шестигранное основание форсунки, оставляя щель для прохода цементного раствора и последующего моментального «промыва» корпуса дорогостоящего струйного монитора.

В современных конструкциях форсунок эта проблема решена путем создания на ее корпусе дополнительного кругового бурта, который располагается под шестигранником и надежно перекрывает уплотнительную шайбу. Однако в этом случае корпус форсунки приходится изготавливать из цилиндрической заготовки с дополнительным фрезерованием шестигранного участка под ключ, что в несколько раз повышает стоимость изделия.

Для решения всех вышеперечисленных проблем технологи предприятия «Специальная строительная техника» впервые в мировой практике предложили изготавливать методом порошковой металлургии не только внутреннюю твердосплавную втулку, но и корпус форсунки.

Порошковая технология позволяет одновременно выполнить круговой бурт и участок под ключ в форме шестигранника, а также сразу сформировать в корпусе коническое отверстие под посадку втулки и тем самым исключить ручную операцию развертки.

Третьим важным преимуществом предложенной технологии является возможность совмещения операции пайки втулки в кор-

пусе одновременно с операцией спекания порошкового корпуса.

Форсунка в сборе перед спеканием в высокотемпературной печи и готовая форсунка после механической обработки представлены на рис. 2. Внешний вид стандартной форсунки и с круговым буртом показан на рис. 3.

Корпус форсунки формируется из шихты порошковой стали с усилием прессования 600–700 МПа, при котором достигается плотность материала 7,2 г/см<sup>3</sup>. Спекание проходит в водородосодержащей атмосфере при температуре 1150 °С в течение 40 мин.

Спекание совмещается с пропиткой корпуса медью, после чего втулка и корпус становятся неразъемным соединением. Спеченная порошковая сталь имеет структуру легированного перлитно-троостита с включениями карбидных фаз. Твердость стали корпуса после спекания составляет 18–30 HRC.

Окончательная операция изготовления форсунки включает финишную механическую обработку порошкового корпуса, на котором выполняют резьбу и галтель.

### Конструктивные параметры форсунок

Рассмотрим схему прохождения цементного раствора через монитор и закрепленные в нем форсунки (рис. 4). На схеме показаны скорости прохождения цементным раствором различных сечений монитора и уровень потерь давления из-за наличия местных сопротивлений.

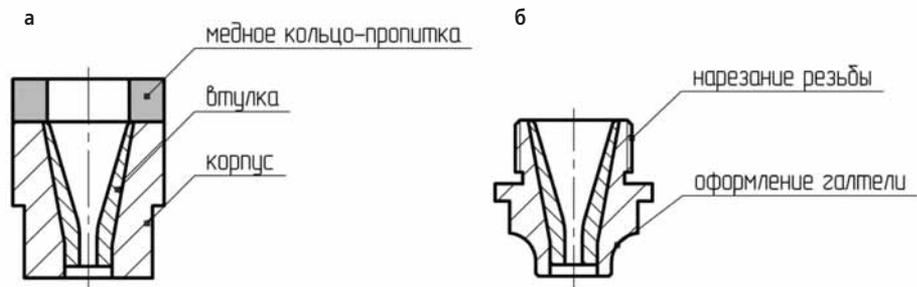
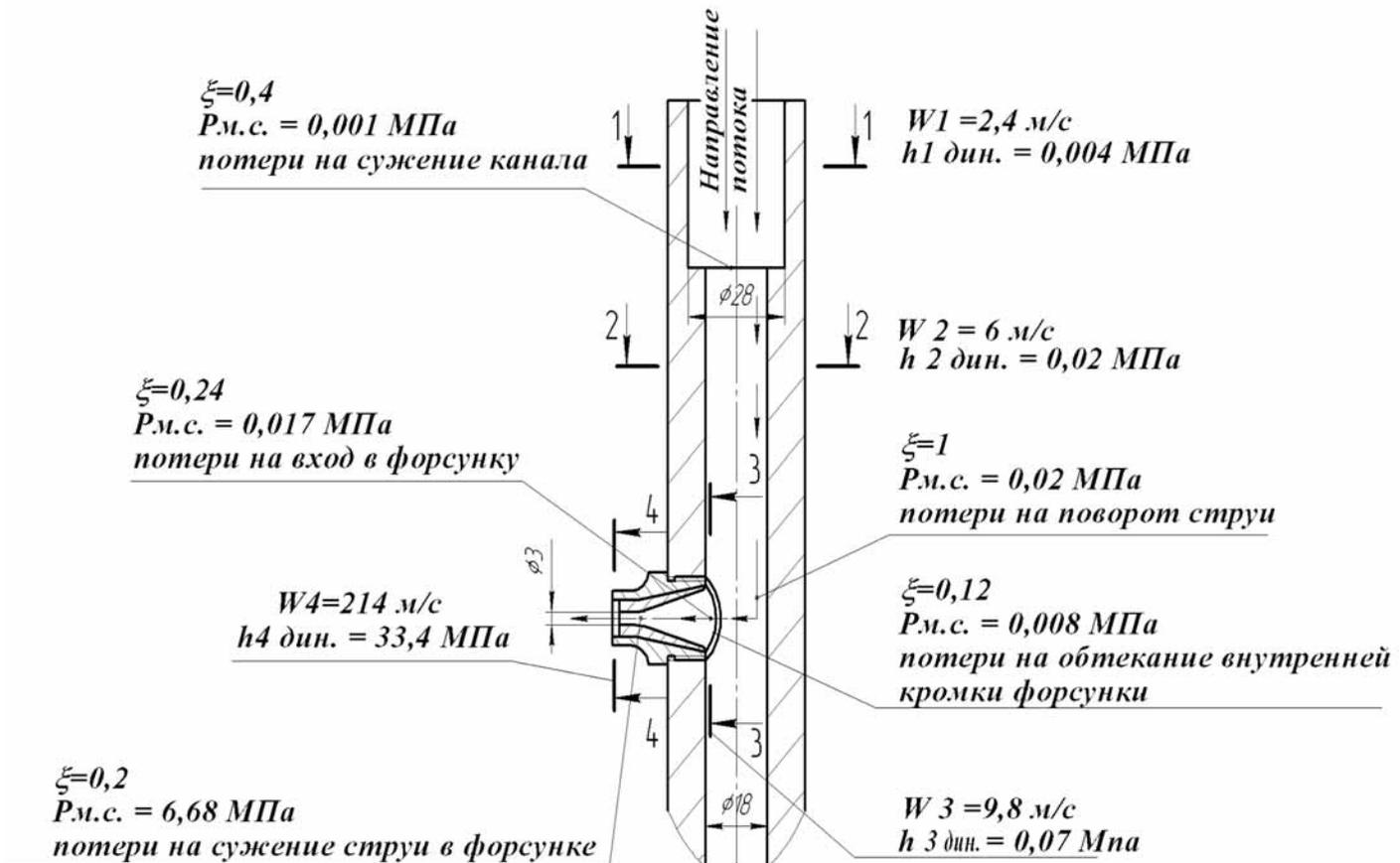


Рис. 2. Вид форсунки в сборе перед спеканием в высокотемпературной печи (а) и вид готовой форсунки после механической обработки (б)



Рис. 3. Внешний вид стандартной форсунки (а) и с круговым буртом (б)

Рис. 4. Схема распределения скоростей и потерь на местные сопротивления при прохождении потока цементного раствора через монитор и форсунку



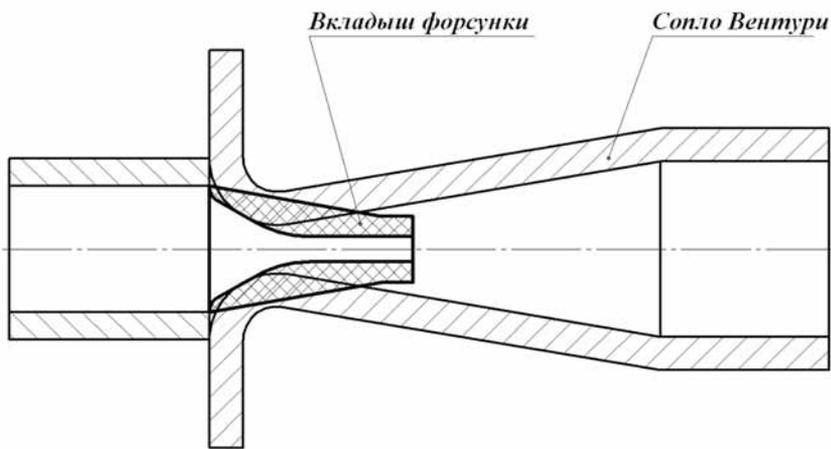


Рис. 5. Сравнение профиля сопла Вентури с профилем форсунки

Принимая, что для каждого из сечений расход жидкости постоянен, получим:

$$W_1 F_1 = W_2 F_2 = W_3 F_3 = Const,$$

где  $W_1, W_2, W_3$  – скорости потока жидкости в различных сечениях канала;

$F_1, F_2, F_3$  – площади поперечных сечений соответствующих каналов.

Динамическое давление движущегося потока определяется как

$$h_{\text{дин}} = \rho W^2 / 2$$

где  $\rho, W$  – плотность и скорость движущегося потока.

Потери на местные сопротивления движущегося потока можно выразить через динамическое давление:

$$P_{\text{м.с.}} = \xi \rho W^2 / 2$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления, который определяется опытным путем (для настоящего расчета коэффициенты были взяты из справочных данных).

Для анализа потерь рассмотрим пример расчета потока цементного раствора через монитор с двумя форсунками диаметром 3 мм. Скорость потока через монитор примем  $W_1 = 3$  л/с, через каждую форсунку  $W_2 = 1,5$  л/с. Давление цементировочного насоса составляет 40 МПа.

В сечении 1–1 монитора исходная скорость потока составляет 2,4 м/с. При сужении канала в сечении 2 она возрастает до 6 м/с, при входе в форсунку (сечение 3) увеличивается до 9,8 м/с, а на выходе из сопла (сечение 4) скорость составляет 214 м/с.

Соответственно растет и динамическое давление цементной струи. На входе в монитор динамическое давление составляет 0,004 МПа, а на выходе из сопла – 33,4 МПа.

Наибольшие потери динамического давления 6,68 МПа происходят в форсунке и связаны с увеличением скорости цементной струи от 9,8 до 214 м/с. Остальные местные сопротивления, такие как сужение канала, поворот струи, вход в форсунку

приводят в сумме к снижению динамического давления менее 0,1 МПа.

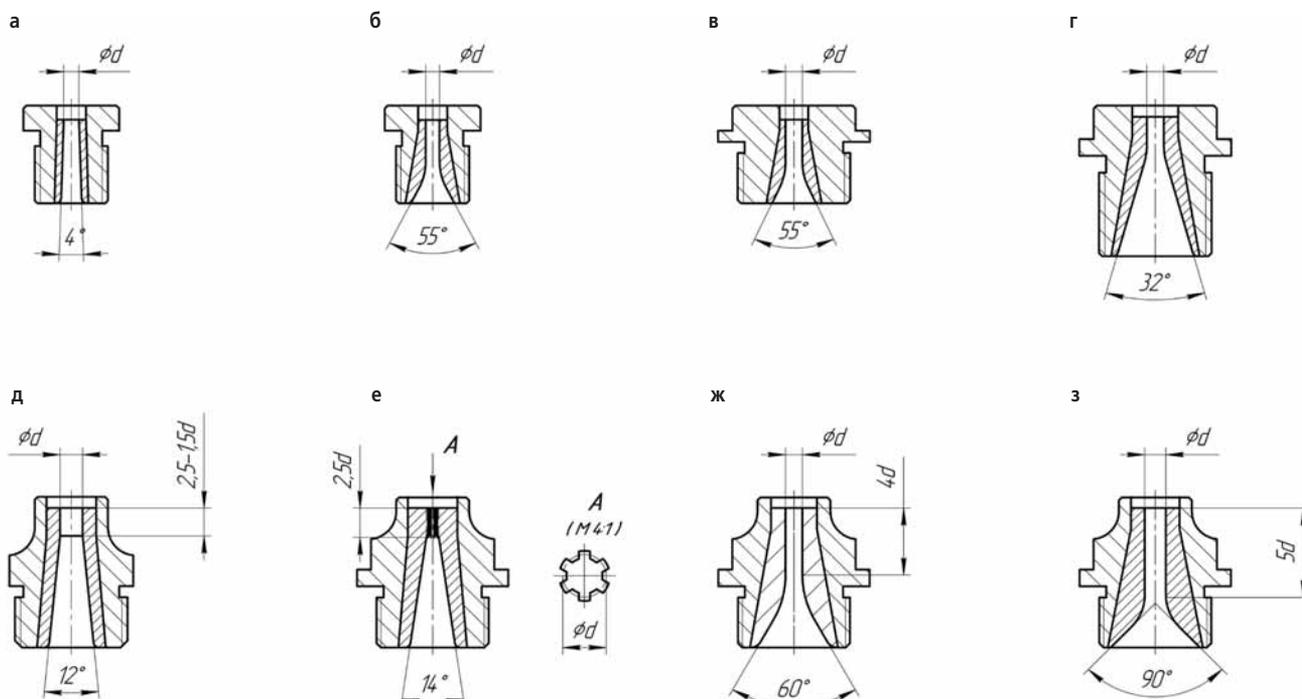
Таким образом, простейший анализ показывает, что практически 99 % потерь давления происходит непосредственно в форсунке. Это определяет актуальность исследования геометрических параметров внутреннего профиля форсунки.

Известно, что оптимальным профилем сопла для истечения жидкостей и газов является профиль сопла Вентури (см. рис. 4). Среди устройств, сужающих потоки, данное сопло имеет наименьшие потери давления. Расширение внутреннего диаметра канала на выходе связано с естественным расширением струи после прохождения критического сечения. Угол естественного раскрытия струй составляет 7–15°.

Между тем, по ряду технологических причин профили, имеющие расширения на входе и выходе, не могут массово изготавливаться на существующем оборудовании порошковой металлургии. Поскольку внутренний профиль сопла оформляется стержнем пресс-формы, возникает проблема невозможности извлечения стержня из прессовки. Компромиссом между теоретической формой и технологией прессования является выполнение только заходного конуса втулки с радиусом закругления на внутренней поверхности заходного торца (рис. 5).

Исследования, проведенные С. С. Шавловским (Основы динамики струй при разрушении горного массива. М.: Наука, 1979), показали, что наибольшей энергией обладают компактные струи без турбулентных завихрений. Основным фактором, отрицательно действующим на компактность струи, является ее вращение относительно продольной оси потока. В вышеуказанной работе рекомендован угол

Рис. 6. Различные профили форсунок для однокомпонентной и двухкомпонентной технологии струйной цементации



Таблица

Технология Jet 1			Технология Jet 2		
Выходной диаметр сопла d, мм		Посадочное место форсунки	Выходной диаметр сопла d, мм		Посадочное место форсунки
Базовый	Дополнительный		Базовый	Дополнительный	
2,0		Резьба: 1/2" gas 1/4" gas 3/8" gas M20 Уплотнительные шайбы из меди	2,0		Резьба: M20×1,5 M24×1,5 1/2" gas Уплотнительные шайбы из меди
	2,2			2,3	
2,5			2,5		
	2,7			2,7	
	2,8		3,0		
3,0			3,5		
				3,6	
			4,0		



Рис. 7. Износ корпусов форсунок после промышленных испытаний

входной конусности 10–14° при длине выходной цилиндрической части сопла равной четырем диаметрам. Таких геометрических параметров при изготовлении форсунок придерживается также большинство зарубежных фирм.

Между тем, практический опыт холодной экструзии компактных и порошковых систем показывает, что для вязких жидкостей оптимальным углом вхождения потока в сопло является 90°. Считается, что при таких углах формоизменение струи происходит наиболее эффективно с меньшими энергетическими затратами.

Исходя из этих положений, специалистами предприятия были сконструированы новые типы форсунок с различным углом вхождения потока в конус (рис. 6).

Отдельный интерес представляет тип форсунки (рис. 6е), у которой на выходной части сопла сформированы продольные щели с целью предотвращения закручивания цементной струи и увеличения ее дальности.

### Результаты испытаний

Чтобы оценить эффективность новых конструктивных и технологических факторов, были проведены в натурных условиях сравнительные испытания всех типов форсунок диаметром 3 мм. Давление цементно-водного насоса было постоянным и составляло 40 МПа. Форму струй фиксировали с помощью фотографирования. Расходы водного и цементного растворов контролировали с помощью расходомера, установленного на высоконапорном насосе. После испытаний оценивали степени износа входного торца корпуса.

### Выводы

В результате испытаний были сделаны следующие выводы.

1. Наибольшую «жизнеспособность» показали форсунки с расширенным входным конусом (рис. 7).

2. Форсунки, имеющие стандартный конус с углом 14°, имели практически одинаковую степень износа входной части независимо

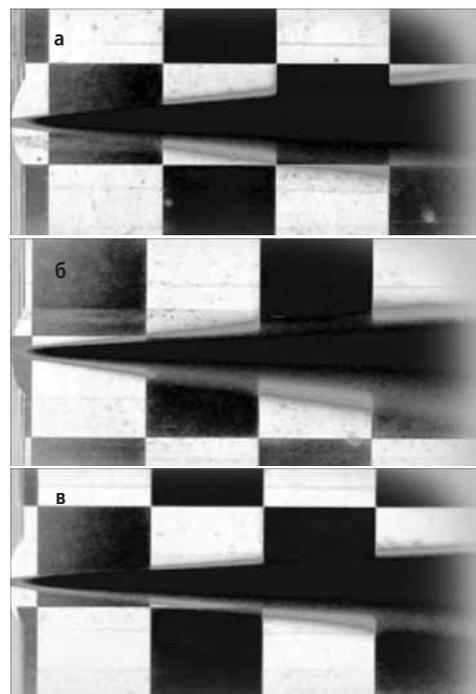


Рис. 8. Вид струй факелов на выходе форсунок различных конфигураций: а – угол заднего конуса 14°, б – угол заднего конуса 60°, в – выходная часть сопла с продольными щелями

от технологии изготовления корпуса (компактный металл или спеченная порошковая смесь). Это дает основание в дальнейшем применять для производства форсунок более прогрессивную технологию порошковой металлургии.

3. Наиболее компактной являлась струя форсунки, втулка которой имела продольные щели (рис. 6е и 7в). Угол раскрытия факела струи составил 12,2° в отличие от стандартных форсунок, у которых он был 15,2–16,7° (рис. 6д и 7а). Важно отметить, что сужение факела на 20% приводит к повышению удельной кинетической энергии струи на 70–80%.

В заключение приведем перечень типовых размеров форсунок, в настоящее время изготавливаемых серийно предприятием «Специальная строительная техника».



ООО «Специальная Строительная Техника»  
Тел./факс: (499) 195-25-41; (342) 219-61-56  
www.cct-drill.ru, www.cct.perm.ru,  
e-mail: info-cct@perm.ru

# НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВИБРАЦИЙ В МЕТРОПОЛИТЕНАХ

**Б. В. Наумов**, генеральный директор группы компаний «АБВ», к. т. н.

## Проблема вибраций – техника и экономика

Проблема вибраций, возникшая одновременно с созданием самого метрополитена, возрастает вместе с увеличением интенсивности движения поездов подземки и остается одинаково актуальной для всех стран и континентов, как для старых линий, так и для вновь строящихся.

Несмотря на различие параметров пути, подвижного состава и тоннелей, метрополитен во всем мире генерирует вибрации в диапазоне частот 31,5–63 Гц, которые превышают допустимые стандартами величины на 15–25 дБ (здесь и далее речь идет о виброускорениях). Поскольку часть вибраций (8–10 дБ) поглощают тоннельные конструкции и грунт (даже при мелком заложении), то создатели виброзащитных конструкций пути должны решить задачу их снижения в полосе частот 31,5 Гц на 8–12 дБ и 63 Гц на 12–15 дБ.

Какие же дивиденды сулит данное решение? В Москве, например, значительно меняется характер зданий в центре города – вместо дворянских усадеб в один-два этажа возводятся новые многоэтажные дома, в которых вибрация, создаваемая старыми линиями метро (в основном мелкого заложения), превышает допустимые нормы, ограничивая тем самым функциональные возможности строений и разрушая их раньше времени. Сколько стоит недвижимость в центре, и как при этом привередливы ее хозяева, думаю, можно не объяснять.

Но при новом строительстве предпочтительны линии метро мелкого заложения, поскольку они дешевле, чем глубокого и перевозят значительно больше пассажиров, по сравнению с эстакадным мини-метро и скоростным трамваем. Уменьшение вибраций позволит строить дома непосредственно над линиями метро, или, по крайней мере, рядом с ними, вводя значительные площади городской земли в хозяйственный оборот. Дополнительный экономический эффект очевиден.

Согласитесь, игра стоит свеч.

## Отягчающие обстоятельства

Создание конструкций рельсового пути метрополитена значительно отличается от аналогичных работ для обычного железнодорожного пути. Конструкторы вынуждены учитывать следующие жесткие условия эксплуатации, свойственные метрополитенам.

- Наличие воды в тоннеле, его низкая освещенность, загрязненность лотковой части – требуют расположения обслуживаемых частей конструкции в верхнем, прилегающем к рельсу и более освещенном участке рельсового пути.

- Для быстрого восстановления движения поездов необходима оперативная доступность всех элементов конструкции.

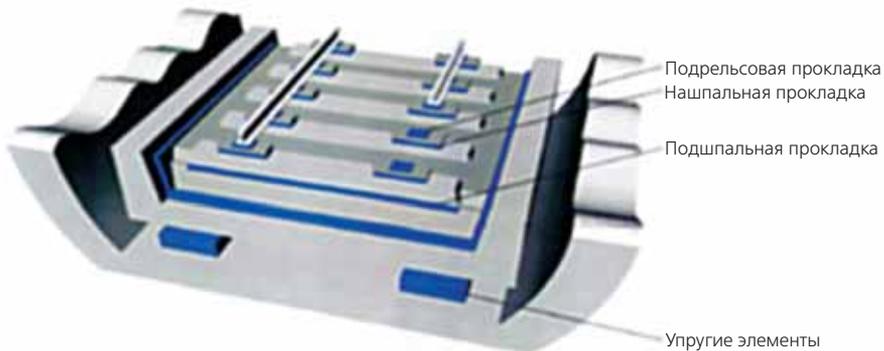


Рис. 1. Традиционные средства виброзащиты

- Условия безопасности требуют сооружения на станционных путях широкого водоотводного лотка 900 мм, ограничивая габариты конструкций.

- Высокие электрические напряжения и токи требуют эффективной электроизоляции рельсов – во избежание утечек тока, вызывающих интенсивную электрокоррозию металлических элементов пути и тоннельной обделки.

- Большая интенсивность движения вызывает ускоренный износ всех элементов верхнего строения пути, повышая требования к их долговечности.

- Обслуживание и ремонт в короткие ночные «окна» делает работы очень дорогими и затрудняет переброску на ремонтируемый перегон средств механизации и тяжелого инструмента. Для этих целей необходимо увеличение надежности конструкций и обеспечение поэтапной, высокопроизводительной и не требующей средств механизации технологии при монтаже и эксплуатации конструкций рельсового пути.

## Все, что нажито непосильным трудом

Поскольку данная проблема существует уже давно, то и решений для нее создано много. Обзор конструкций очень наглядно выполнила австрийская фирма «Getzner» (рис. 1).

Очевидно, что с точки зрения эксплуатации, наиболее удобными являются виброзащитные конструкции, расположенные непосредственно под рельсом. Они легко контролируются и доступны для замены. Кроме того, они не только уменьшают вибрации, передаваемые от рельса на тоннель, но и снижают их генерацию. Ведь существенная часть вибрации создается за счет того, что в типовой конструкции пути рельс представляет собой стиральную доску – жесткость его между шпалами и на шпале отличается примерно на порядок, и поезд все время скачет по кочкам. Расчеты показывают, что

именно таким образом и генерируются наиболее сильные колебания в частотах 31,5 и 63 Гц. Сокращение различия в жесткости подрельсовых опор уменьшает и генерацию вибраций. Об этом написаны десятки статей и книг, авторы которых, начиная от Г. М. Шахунянца, В. Ф. Барбошина, А. Н. Грановского и заканчивая современными зарубежными специалистами, предсказывали подобным конструкциям самые светлые перспективы. Поверим им, и потому исключим из рассмотрения в этой статье плитные конструкции (называемые на западе системами «масса пружина»), которые позволяют вибрациям генерироваться, но потом не дают возможность перейти им на тоннельную обделку за счет огромной подрессоренной массы плит до 4 т на 1 м пути. Опыт проектирования и пуска в эксплуатацию подобных конструкций у меня имеется и может стать темой другой статьи.

Остановимся на подрельсовых, нащпальных и подшпальных виброзащитных конструкциях, благо развивались они в последние годы особенно динамично, что было связано с технологическим прогрессом в области создания прокладок из полиуретанов и пенополиуретанов, которые быстро и повсеместно вытесняют каучуки. Развитие конструктивов привело, в частности, к тому, что и сам термин «нащпальные» уже не очень соответствует действительности – в большинстве случаев прокладки ставятся под подкладки рельсового крепления бесшпального пути, закрепляемые непосредственно на путевом бетоне с помощью анкеров или дюбелей с шурупами, а «подшпальные» прокладки сегодня чаще всего входят в состав упругих оболочек («галаш»), изолирующих шпалу или полупшалок от путевого бетонного слоя. По результатам испытаний и данным производителей, эффективность подрельсовых и нащпальных прокладок не превышает 5–6 дБ в октавах 31,5 и 63 Гц, а «галаш» – 8–9 дБ в

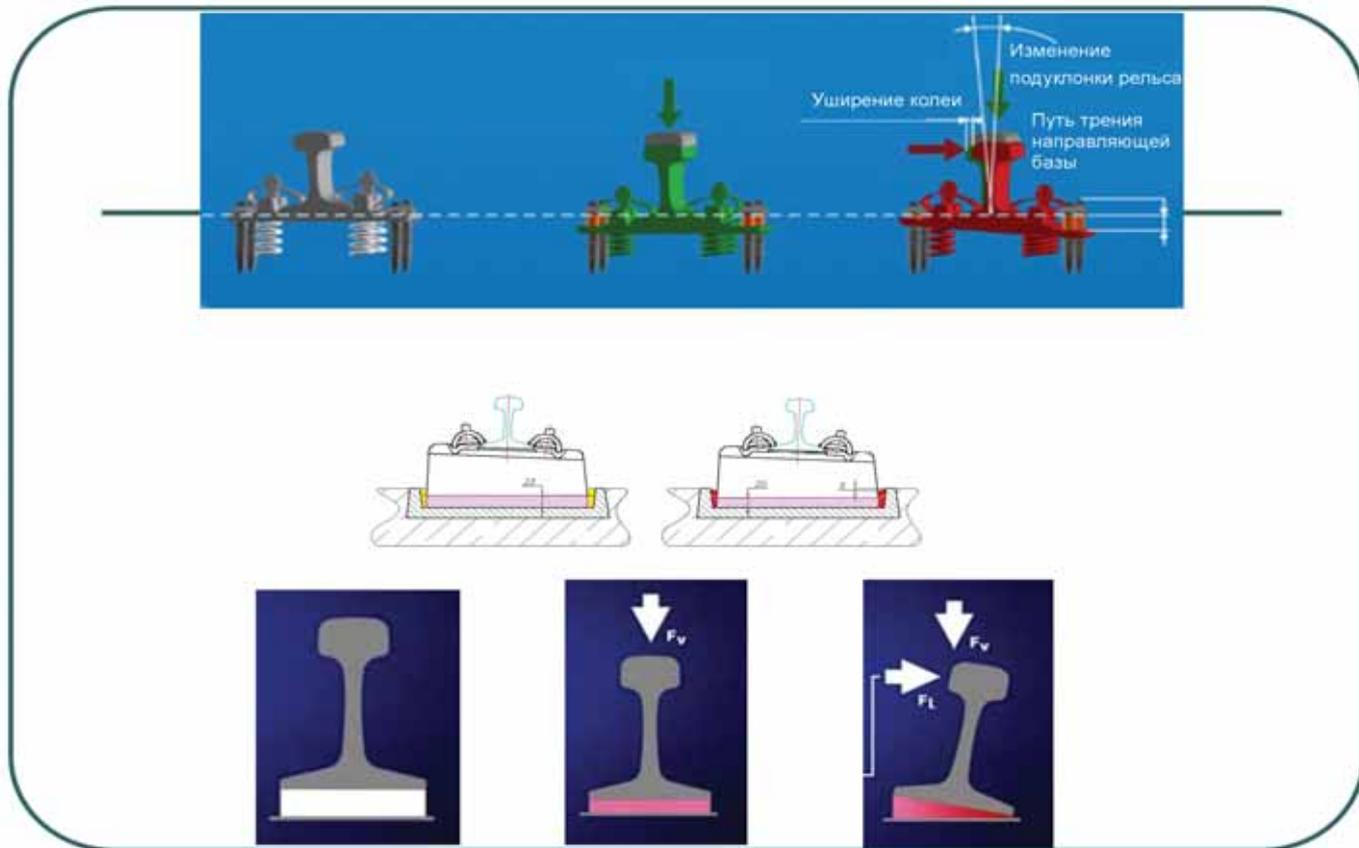


Рис. 2. Положение рельса в результате снижения вертикальной жесткости

октаве 63 Гц. Поскольку в этих конструкциях масса «поддресоренной» части мала, то эффект виброзащиты создается только за счет снижения жесткости подрельсовой опоры. Однако существенному уменьшению этой жесткости мешают отрицательные побочные эффекты:

- снижение жесткости напильных прокладок существенно ухудшает работу анкеров, болтов или шурупов, увеличивая плечо приложения к ним горизонтальных сил;
- вертикальные перемещения рельса подкладки или шпалы приводят к интенсивному износу шурупов, анкеров, болтов, боковых стенок «галоши» или других элементов конструкции, направляющих движение рельса, подкладки или шпалы.

Это, в свою очередь, ведет к нарушению геометрии пути и разрушениям подрельсовых опор;

- снижение вертикальной жесткости приводит к тому, что рельс, подкладка или полушпала может перемещаться не только вниз, но и поворачиваться вокруг горизонтальной оси, тем самым, расширяя колею. Это наглядно показано на рис. 2.

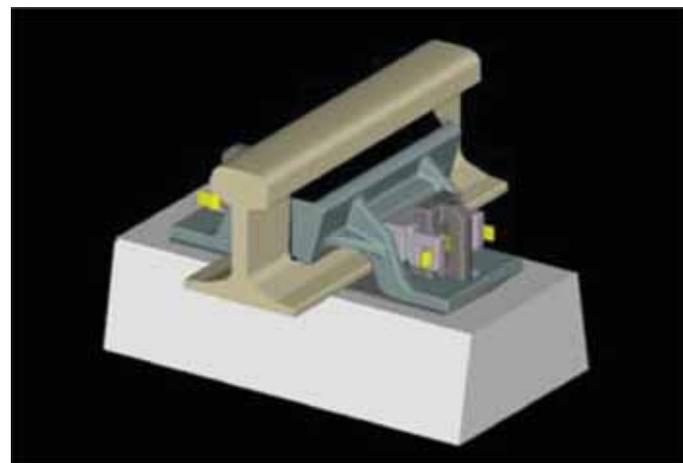


Рис. 3. Крепление VANGUARD

Рис. 4. Установка конструкции VANGUARD

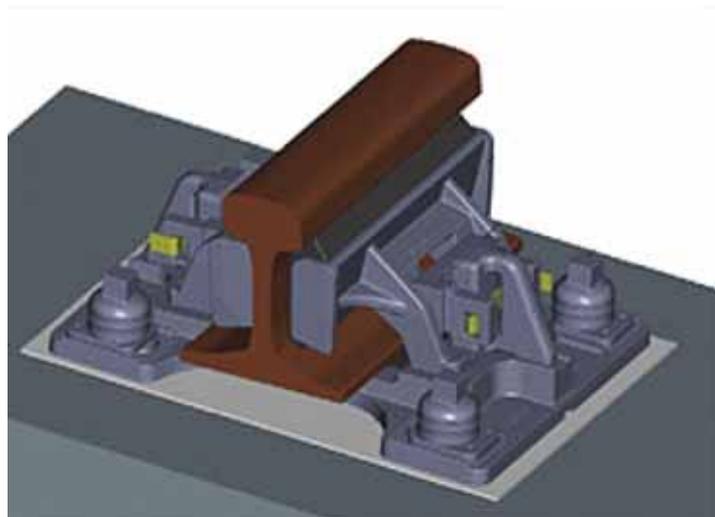




Рис. 5. Виброзащитное рельсовое крепление ВГС

«Благодаря» перечисленным эффектам, рассмотренные типы конструкций допускают упругое перемещение рельса не более чем на 2–3 мм при статическом нагружении, вместо допустимых 5 мм, что в разы снижает их эффективность с точки зрения виброзащиты.

Необходимо также отметить, что даже у самых современных образцов эластомеров, используемых для производства упругих прокладок, статическая (под неподвижным поездом) и динамическая (под проходящим поездом) жесткости отличаются минимум в 1,5 раза. Следовательно, при перемещении рельса на 3 мм в статике, в динамике, когда необходимо снижение вибрации, оно составит не более 2 мм.

По этим причинам, несмотря на все усилия конструкторов, существенного роста эффективности виброзащитных конструкций такого типа добиться не удалось и вряд ли удастся в будущем.

Дополнительным недостатком подшпальной прокладки является сложность ее конт-

роля и замены. Это особенно проявляется в конструкциях, где периметр шпалы залит полиуретановым упругим компаундом, который надо вырезать для контроля упругой подкладки, а затем заливать снова (предварительно высушив место заливки) и ждать отверждения около 3 ч. Не всякое ночное «окно» позволит применить такую технологию.

#### Новые взгляды

Как и во многих других областях техники, в рельсовом пути за последние годы также стали появляться ин-

тересные конструкции, использующие преимущества современных материалов и технологий.

Самым оригинальным решением задачи стала разработка крепления VANGUARD фирмой «Pandrol» (рис. 3).

Задавшись целью существенно снизить вертикальную жесткость крепления, конструкторы были вынуждены отказаться от традиционной схемы установки рельса, зажав его за шейку, а не за подошву. Таким образом, уменьшен до минимума первый отрицательный эффект обычных креплений – рельс не раскантивается и колея не уширяется, что под поездной нагрузкой метрополитена позволяет рельсу перемещаться по вертикали до 4,5 мм, а по горизонтали только до 0,5 мм. При этом снижение виброускорений на тоннельной обделке достигло по данным производителя 10–12 дБ в диапазоне частот от 31,5 до 63 Гц.

Столь высокие результаты, достигнутые за счет сочетания удачного и незаслуженно забытого, (такое решение известно со вре-

мен применения в начале XX века рельсов с двумя головками) метода закрепления и современных эластомерных материалов, оснащают, наглядно показывая, что снижение жесткости подрельсовых опор является эффективным средством уменьшения вибраций.

В конструкции Pandrol предпринята также попытка сократить влияние и второго отрицательного фактора. Поскольку щеки, вдоль которых рельс перемещается по вертикали, сжимают его через упругие элементы большой толщины, то и перемещение его относительно щеки сопровождается не трением поверхности о поверхность, а внутренней деформацией упругого элемента. Для этого упругий элемент должен иметь низкую жесткость в вертикальном направлении при высокой жесткости в горизонтальном. Тем самым обеспечивается стабильность ширины колеи.

Наиболее существенным недостатком VANGUARD является сложность его монтажа, необходимость во время этого процесса обслуживания тяжеловесного оборудования, невозможность установки в зонах стыков, подъем уровня головки рельса по сравнению с типовыми конструкциями.

Несмотря на данные недостатки, крепления VANGUARD находят все большее применение в европейских метрополитенах, имея модификации для устройства на бетонных и деревянных шпалах, а также непосредственно на путевом бетоне (рис. 4).

Другой инновационной конструкцией стало виброзащитное рельсовое крепление ВГС, разработанное московской фирмой «АВВ» (рис. 5).

В новом креплении удалось разделить регулировку вертикальной и горизонтальной жесткости по разным упругим элементам, и сделать эти регулировки независимыми (рис. 6). Горизонтальная жесткость в поперечном и продольном направлениях определяется сайлент-блоком, расположенным с

Рис. 6. Разделение регулировки вертикальной и горизонтальной жесткости



одной стороны от рельса, а вертикальная – пружиной, размещенной с противоположной стороны. Рельс установлен на рычаге, его траектория движения определена, и уширения колеи не происходит даже при больших вертикальных перемещениях.

При этом не происходит и износа упругих элементов сайлент-блока, поскольку их относительные перемещения в десятки раз меньше перемещения рельса. При такой конструкции скрепление может обладать низкой вертикальной жесткостью, поскольку лишено недостатков традиционных скреплений.

И сайлент-блок, и пружина, находясь в стороне от рельса, легко могут быть проконтролированы и, при необходимости, заменены. При этом нет необходимости даже раскреплять рельс, он поддомкрачивается вместе с подкладкой скрепления и пружина легко заменяется.

Скрепление ВГС, установленное на Сокольнической линии Московского метрополитена для защиты музея изобразительных искусств им. А. С. Пушкина, обеспечило снижение вибраций на 8–13 дБ в частотах 31,5 и 63 Гц. Вибрации в залах музея приведены в соответствие санитарным нормам. Кроме того, испытания показали, что применение ВГС снижает напряжения в рельсе и обеспечивает равномерность износа головки рельса, увеличивая срок его эксплуатации (рис. 7).

Конструкция ВГС позволяет заменять старые подкладки типа Метро, КД так же, как это делалось обычно при использовании типовых. А после замены всех подкладок на ВГС – в одну ночь устанавливаются все пружины, и путь становится виброзащитным. Такими технологическими возможностями не обладает ни одна из известных российских и зарубежных конструкций, сравнимой с ВГС по эффективности.

Благодаря возможностям дальнейшего снижения жесткости пути, предоставляемых новым типом конструкции, эффективность ВГС будет и далее повышаться путем их последовательной модернизации. Но уже сегодня вибрации, создаваемые действующей линией метрополитена, можно снизить до санитарных норм в короткие сроки.

На основе полученного опыта эксплуатации была разработана целая серия скреплений для различных типов конструкций рельсового пути.

При строительстве новых линий распространение получило скрепление ВГС 5 с полущпалами из композиционного материала Эктон, которые обладают электрическим сопротивлением в 1000 раз выше, чем бетонные или деревянные шпалы и оберегают конструкции пути и тоннеля от электрокоррозии. Сейчас уже десятки тысяч скреплений типа ВГС успешно работают на Московском метрополитене (рис. 8).

Для строительства железнодорожных путей на мостах сегодня используются



**Рис. 7. Скрепление ВГС, установленное на Сокольнической линии Московского метрополитена**



**Рис. 8. Конструкция пути со скреплениями типа ВГС**

конструкции с плитами БМП. Для них разработано скрепление ВГС 10, которое многократно снижает динамические воздействия на плиты пути, нормализует шум и вибрацию на мостовых переходах. С таким скреплением конструкция БМП вполне может найти применение и на метромостах.

### **Заключение**

Подводя итог, можно сказать, что за последние годы в арсенале инженеров, проектирующих железнодорожный путь, наконец, появились конструкции скреплений, способные обеспечить возможность значительного (в 2–3 раза) снижения вер-

тикальной жесткости подрельсовых опор при сохранении их жесткости в латеральных направлениях. Это открывает новые горизонты как для защиты от вибраций, так и для улучшения динамических и эксплуатационных параметров железнодорожного пути, что актуально не только для метрополитенов, но и для участков железнодорожных дорог в тоннелях, на мостах и на подходах к ним. У эксплуатирующих организаций появилась возможность исправить ситуацию с вибрацией или динамикой на действующих участках путей, а у жителей городов появилась надежда забыть как звенят в сервантах бокалы, салютуют каждому поезду.



# ВАРИАНТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДВОДНОГО СОВМЕЩЕННОГО ТОННЕЛЯ ПОД р. ЛЕНА В РАЙОНЕ г. ЯКУТСКА

В. Н. Панафидин, гл. инженер ФСК «Мост»

Г. Н. Полянкин, зав. кафедрой СГУПС

А. В. Яковлев, ген. директор института «Бамтоннельпроект»



Одним из ключевых вопросов реализации Федеральной целевой программы «Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года» является строительство новой железнодорожной линии Беркажит – Томот – Якутск, республика Саха (Якутия) с пересечением автомобильной и железнодорожной магистрали реки Лены в районе г. Якутска.

Развитие этого направления совпадает с проектом перспективной транзитной Трансконтинентальной магистрали Евразия (ТКМ) – Америка через Берингов пролив, объединяющей Европу, Россию, Азию и Америку единым мультитранспортным коридором.

ТКМ является мультитранспортной магистралью, которая в рамках единого коридора объединит скоростную железную дорогу, автомагистраль, линию электропередачи, трубопроводы и оптоволоконную линию связи. ТКМ – World Link запроектирована по маршруту Якутск – Магадан – Анадырь – Уэлен (Россия) – Ном – Фербэнкс – Форт-Нельсон – Британская Колумбия (Северная Америка) с тоннелем под Беринговым проливом.

Общая протяжённость магистрали будет около 6 тыс. км, из которых около 3850–4050 тыс. км будет проложено на территории России (существуют два проекта прокладки ТКМ на территории России: северный и южный, протяжённость которых несколько отличается). На американском

континенте длина ТКМ составит примерно 1900 км. Наиболее сложный участок – тоннель через пролив. Расстояние между берегами в районе трассы – 84 км, протяжённость будущего тоннеля колеблется от 98–113 км (длина Евротоннеля под Ла-Маншем – 50 км). На его пути расположены два острова – Большой Рахманова и Малый Крузенштерна, благодаря которым тоннель разбивается на три коротких отрезка, каждый по 30 км. Это делает проект вполне осуществимым.

## Обоснование выбора тоннельного варианта

Подводные тоннели относятся к основным видам пересечения крупных водных препятствий трассой железной или автомобильной дороги. В районах с экстремальными климатическими условиями они в наибольшей степени обеспечивают условия для бесперебойного движения всех видов транспорта на пересекающихся магистралях (железнодорожной, автодорожной и водной) и обладают определенными преимуществами перед мостовыми переходами.

Технико-экономические преимущества подводных тоннелей:

- отсутствуют искусственные помехи для пропуска ледохода и борьбы с образованием заторов льда в различных местах водотока;
- обеспечивается бесперебойное и круглогодичное железнодорожное или автомо-

бильное сообщение на участке пересечения водотока;

- в условиях сурового климата снижаются трудозатраты на текущее содержание тоннеля, выше уровень эксплуатационной надежности сооружения;
- полностью сохраняются существующий характер акватории и условия судовождения;
- паводки и мощные ледоходы, проходящие при высоких уровнях воды, а также турбулентные потоки при разных уровнях воды, не оказывают негативного влияния на конструкции и положение русла.

К недостаткам подводно-тоннельных переходов чаще всего относят их повышенную строительную стоимость по сравнению с мостовыми переходами. Мировой опыт сравнения альтернативных решений подтверждает, что стоимость, приходящаяся на 1 м длины тоннеля, оказывается наибольшей при малых длинах сооружения. По мере увеличения длины тоннеля она постепенно снижается. При определенной протяженности перехода через водоток строительные стоимости выравниваются с сохранением выше отмеченных преимуществ тоннельного пересечения в условиях Крайнего Севера.

## Особенности проекта

Правобережная пойма р. Лены довольно пологая и достигает ширины нескольких ки-

лометров, главным образом, за счет островов и отдельных массивов. Основной сток реки сосредотачивается вдоль левого высокого берега. Большинство правобережных протоков межень пересыхает.

Проходка тоннелей и штольни возможна ниже дна водотока (с заглублением от 10 до 25 м) в коренных гальных породах (алевролиты средней крепости) на правобережной пойме – в песках различной крупности, находящихся в вечномёрзлом состоянии.

Особенности рельефа дна русла и береговых участков позволили запроектировать подводный тоннельный переход под р. Лена двускатным в направлении к подрусовой части, состоящим из трёх участков: правобережный, центральный (подводные тоннели и штольня) и левобережный.

В состав предпортальных участков входят:

- левобережный и правобережный рамповые участки;

- правобережный рамповый участок (со стороны Восточного портала тоннеля), сооружается открытым способом и имеет протяженность 341,08 м;

- центральный участок тоннеля в подрусовой части будет построен в основном современным, наиболее безопасным и надежным, щитовым способом. При этом могут быть использованы инновационные технологии проходки тоннелей и современные тоннелепроходческие механизированные комплексы (ТПМК) типа Herrenknecht-13210 и SELI-LOVAT RME-394 SE/GS с роторным исполнительным органом больших размеров. Протяженность щитовой проходки составляет 3806,30 м, открытого способа работ со стороны Восточного портала – 218,78 м и со стороны Западного портала – 401,07 м. Общая длина тоннеля 4426,15 м, глубина заложения относительно дна реки составляет от 15 до 22,4 м;

- левобережный рамповый участок (со стороны Западного портала тоннеля), сооружается открытым способом, имеет протяженность 409,31 м.

Железная дорога, исходя из объемов грузоперевозок (5–6 пар в сутки), запроектирована IV категории, автомобильная – принята III категории.

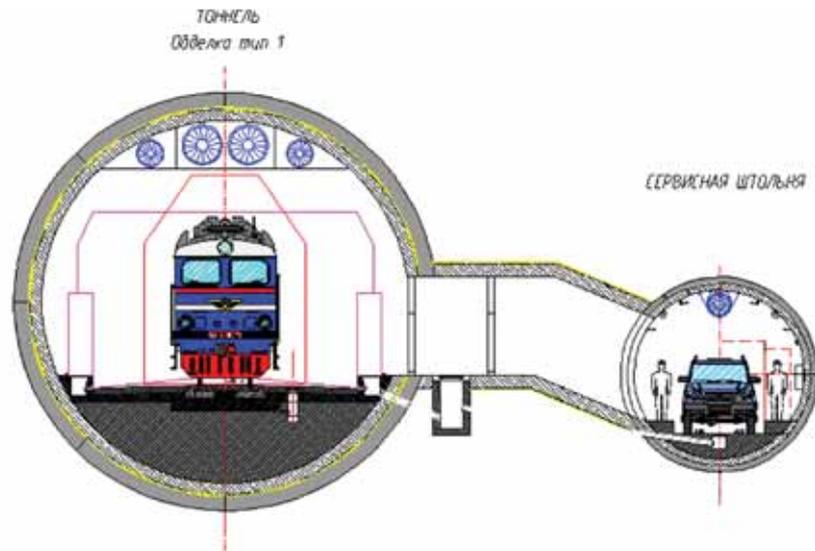
Поперечное сечение обделки тоннеля принято кругового очертания и предусматривает размещение в ее пределах габарита приближения строений «С» по ГОСТ 9238-83, для автомобильных дорог по ГОСТ Р 52748-2007, водосточных лотков, сантехнического и электро-технического оборудования и коммуникаций.

Рассмотрено несколько вариантов подводного тоннельного перехода:

- совмещенный (автомобильный и железнодорожный) тоннель круглого сечения D 12,83 м, с сервисной штольней D 4,3 м и сбойками;

- совмещенный (автомобильный и железнодорожный) тоннель круглого сечения D 12,83 м, с сервисной штольней D 6,0 м и сбойками;

- раздельные (автомобильный и железнодорожный) тоннели круглого сечения D 10,3 м и сбойками между тоннелями (см. рис.).



Раздельные (автомобильный и железнодорожный) тоннели

### Сборная железобетонная обделка

Сборная железобетонная обделка, сооружаемая по мере продвижения ТПМК, собирается из блоков толщиной до 500 мм. При её возведении в вечномёрзлых грунтах применяются блоки со слоем теплоизоляции (по наружной стороне блока) толщиной 50 мм. В целях исключения проникновения грунтовых вод по внутреннему контуру сборной железобетонной обделки тоннеля предусматриваются замкнутая пленочная гидроизоляция и монолитная внутренняя железобетонная обделка толщиной 350 мм. Из условия обеспечения движения по тоннелю автотранспортных средств, для повышения огнестойкости его обделки, проектом предусматривается устройство огнезащитного покрытия по внутренней поверхности стен и свода конструкции. В соответствии с требованиями нормативных документов совмещенный тоннель имеет через каждые 300 м эвакуационные выходы (сбойки) в штольню безопасности, расположенную на расстоянии 20 м от тоннеля. Сооружение сервисной штольни диаметром 6 м позволяет осуществлять пропуск автомобильного транспорта экстренных служб – машин скорой помощи, МЧС, МВД и других служб, не нарушая графика движения пассажирских и грузовых поездов на перегоне Правая Лена – Табага – Якутск. Для выполнения условия пропуска по штольне транспорта экстренных служб необходимо соорудить сервисную штольню с выходом на порталы тоннеля. В данном случае её длина будет составлять 4426,15 м, т. е. увеличится на 619,85 м.

### Конструкция тоннеля на участке открытого способа работ

Поперечное сечение обделки тоннеля прямоугольное из монолитного железобетона, сооружается открытым способом в котловане блоками длиной 10 м. Его наружные габариты: ширина 14,86 м, высота 9,78 м. По наружной поверхности стен, перекрытия ( $\delta = 900$  мм) и лотка ( $\delta = 1000$  мм) устраивается слой гидроизоляции ( $\delta = 2,2$  мм). Между блоками обделки предусмотрены водонепроницаемые де-

формационные антисейсмические швы. В вечномёрзлых грунтах также устраивается слой теплоизоляции ( $\delta = 50$  мм) для предотвращения оттаивания окружающего тоннель грунтового массива. Во внутреннем сечении обделки предусмотрены вентиляционный канал (отсек дымоудаления) и эвакуационный проход.

Предел огнестойкости обделок тоннеля соответствуют требованиям СНиП 32-04-97. Для обеспечения движения по тоннелю автотранспортных средств, а также для повышения огнестойкости обделки тоннеля запроектировано устройство огнезащитного покрытия по внутренней поверхности стен и свода обделки тоннеля.

Конструкция рампового участка предусмотрена в виде железобетонной корытообразной конструкции переменной высоты и состоит из монолитных стен ( $\delta = 0,8-1,54$  м) и лотка ( $\delta = 1000$  мм). Верх стен находится на отметке 90.00 (Балтийская система высот).

По наружной поверхности конструкции наносится слой гидроизоляции ( $\delta = 2,2$  мм), при наличии мерзлоты – слой теплоизоляции ( $\delta = 50$  мм). Лицевая поверхность стен рампового участка оформляется облицовкой из плит местных пород. На участках расположения рамповых участков в зоне вечномёрзлых грунтов, для сохранения их в естественном состоянии, дополнительно укладывается слой теплоизоляции толщиной 50 мм.

Предел огнестойкости обделок тоннеля соответствует требованиям СНиП 32-04-97. Для повышения огнестойкости обделки тоннеля проектом предусматривается устройство огнезащитного покрытия по внутренней поверхности стен и свода обделки тоннеля.

В современных условиях при использовании инновационных методов строительства, мощного проходческого оборудования, прогрессивных конструкций, основываясь на опыте и профессиональном уровне проектировщиков и строителей России, полученном при сооружении тоннелей БАМ и олимпийских объектов Сочи-2014, тоннельный вариант в условиях Крайнего Севера более перспективен.



# ОПЫТ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ТОННЕЛЕЙ В СКАЛЬНОМ МАССИВЕ

Н. Н. Абрамов, Ю. А. Епимахов, Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты

В отечественной практике эксплуатации большепролетных подземных сооружений значительную долю составляют объекты гидроэнергетики. Подземные выработки используются для размещения машинных залов ГЭС, технологических напорных и безнапорных тоннелей, причем значительное количество тоннелей эксплуатируются десятки лет без крепления. Вопросы безопасности и безаварийности работы подобных объектов напрямую связаны с устойчивостью массива горных пород. В этой связи геофизический мониторинг состояния подземных сооружений имеет высокую актуальность.

Анализ внешних влияющих факторов, формирующих состояние эксплуатируемых сооружений подземных ГЭС, размещенных на территории Кольского полуострова (рис. 1), позволил расставить нужные акценты при выборе методов геофизического мониторинга.

На рис. 2 приведена блок-схема методов мониторинга, реализуемого, например, на Верхне-Тулумской ГЭС.

Результаты периодических визуальных осмотров состояния стен и кровли сооружений, а также данные сейсмотомографического мониторинга 2003–2011 гг., принятого в качестве базового метода оценки, позволили определить природу формирующихся на обнажениях заколов породы, связанную, в первую очередь, с образованием техногенной нару-



Рис. 1. Структура факторов, влияющих на состояние подземных сооружений

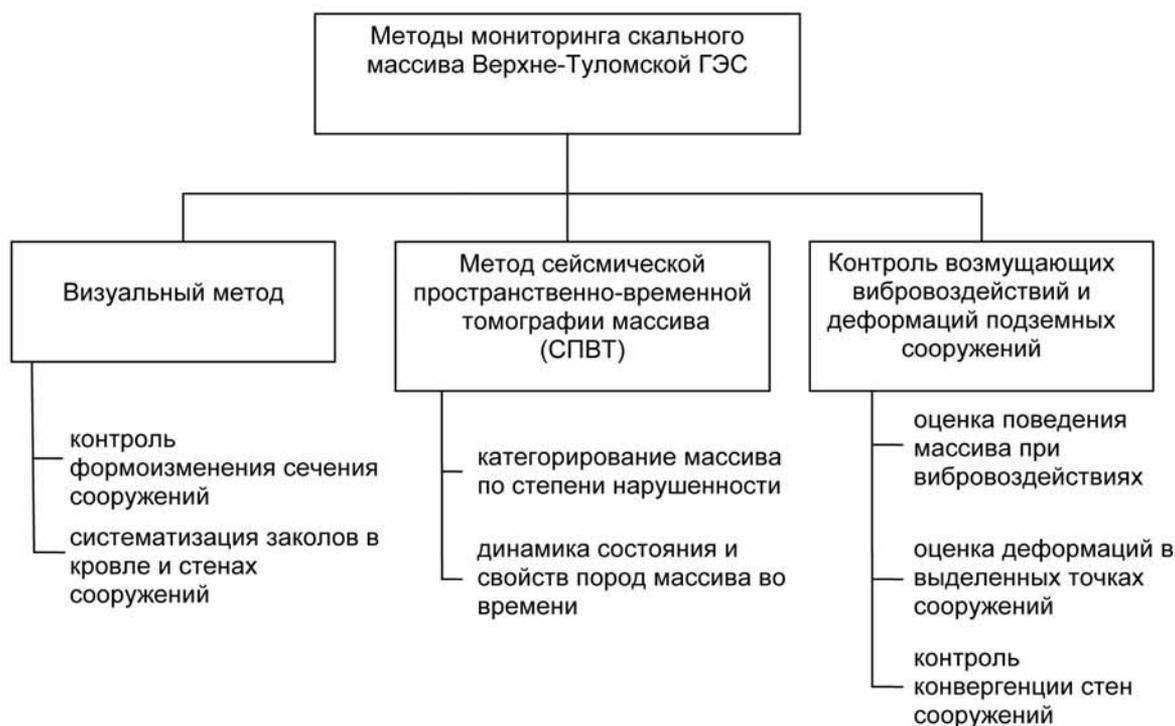
шенной зоны пород в приконтурном массиве еще в процессе проходки выработок буровзрывным способом. Длительная эксплуатация гидротехнических тоннелей под влиянием процессов выветривания привела к снижению геомеханических характеристик приконтурного массива с образованием зон отдельных вывалов. По данным сейсмотомографических натуральных наблюдений, в зонах тектонических нарушений в глубине массива также зафиксирован процесс ослабления естественных межблоковых связей, проявляю-

щийся в существенном отличии свойств вмещающих пород массива по сравнению с другими участками – росте коэффициента Пуассона и снижении модуля упругости породы.

В особенности, данный процесс, как было установлено, активизирован в зоне массива прилегающей к машинному залу ГЭС (целик породы между машинным залом и щитовой галереей).

По этой причине к числу природно-эксплуатационных факторов подземной ГЭС-12, как видно из схемы рис. 1, были отнесены посто-

Рис. 2. Блок-схема методического обеспечения геофизического мониторинга массива Верхне-Тулумской ГЭС



янно действующие техногенные вибрации, возникающие при работе генераторных блоков в машинном зале. Эти вибрации через его основание передаются и на скальный массив. Как известно, вынуждающие вибрационные нагрузки, в зависимости от состояния и конструктивных размеров объекта, воздействуют по-разному. Деформационные проявления виброчувствительности горных пород исследовались в различных работах, при этом было установлено скачкообразное anomальное изменение величин деформаций и их скоростей во время действия вибраций на нагруженные образцы горных пород. В момент включения вибраций отмечалось существенное снижение уровня акустической эмиссии по сравнению с периодом деформирования образца без них. К сожалению, на сегодняшний день, вопрос об инициирующем воздействии слабых вибраций на процесс деформирования нагруженных геоматериалов, в связи с задачами активного влияния на очаги концентрации напряжений и оценкой устойчивости механических систем, пока остается открытым. Основным объектом воздействия вибраций на массив являются межблоковые границы, трещины, заполненные, как правило, рыхлым материалом. Под действием даже малых вибрационных нагрузок, особенно в течение длительного времени, состояние контактов может ухудшаться, что и приводит к изменению свойств массива и снижению его устойчивости.

Применительно к блочной структуре массива пород, для оценки предельных значений вибро смещений и размеров деформируемого блока породы  $L$ , можно воспользоваться соотношением между амплитудой смещения породной отдельности и частотой при динамическом воздействии:

$$A_i = \frac{v_{\text{смиц},i}}{2\pi \cdot f_i}, \quad (1)$$

Рис. 4. Схема размещения контрольных точек измерения вибраций (а) и результаты замера амплитуд вибро воздействий в различных режимах работы генераторов (б)

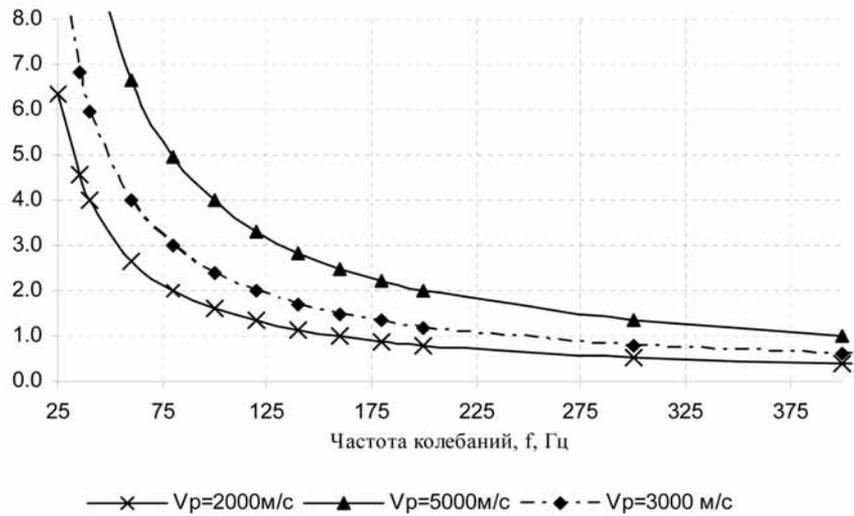
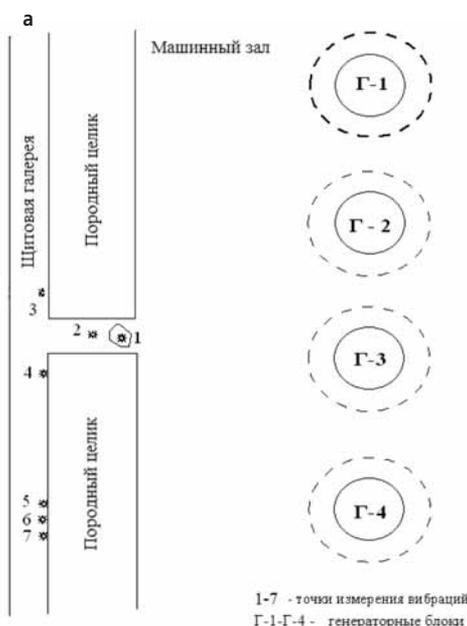


Рис. 3. Взаимосвязь частоты собственных колебаний и размера деформируемого блока породы

где  $A_i$  – расчетная амплитуда колебаний породного блока от нормальной нагрузки при частоте сигнала  $f_i$ , мм;

$v_{\text{смиц},i}$  – скорость смещения породного блока в частотном спектре  $f_i$ , мм/с.

Для динамических нагрузок относительная деформация  $\varepsilon$  блока может быть выражена:

$$\varepsilon = \frac{v_{\text{смиц},i}}{V_p}, \quad (2)$$

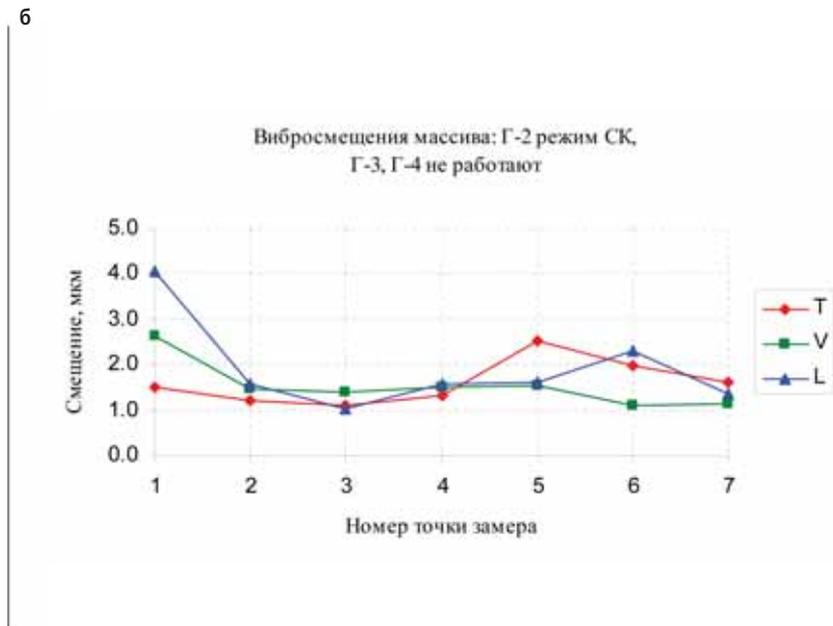
где  $V_p$  – скорость распространения продольной волны в породе, м/с.

Тогда выражение для линейного размера блока  $L_i$ , определяемого как  $L_i = \varepsilon A_i$  в функции частоты и с учетом удвоения скорости смещения при выходе волны на поверхность обнажения (в месте размещения вибродатчика), составит:

$$L_i = \frac{V_p}{4\pi \cdot f_p}. \quad (3)$$

Анализ графика полученной зависимости (рис. 3) показывает, что в частотном спектре вынуждающих колебаний от 25 до 125 Гц в резонанс могут быть вовлечены блоки породы от 1,5 до 8,0 м, а это для устойчивости сооружений ГЭС-12 является весьма значимым.

Для установления фактических амплитудно-частотных характеристик вынужденных вибро колебаний в отдельных точках на контуре сооружений, примыкающих к машинному залу, был выполнен натурный контроль вибраций. Схема размещения контрольных точек и результаты контроля амплитуд смещений приведены на рис. 4.



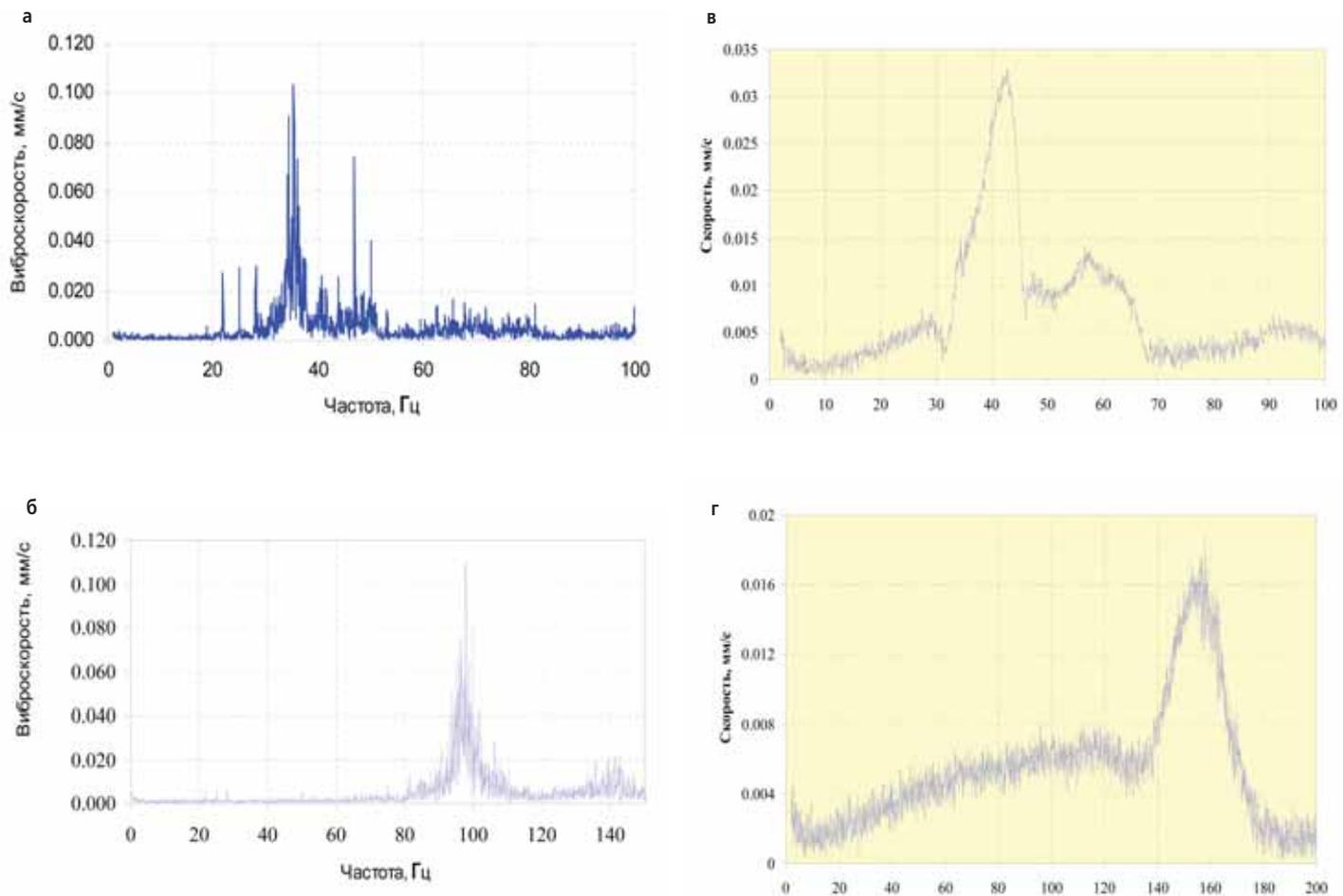
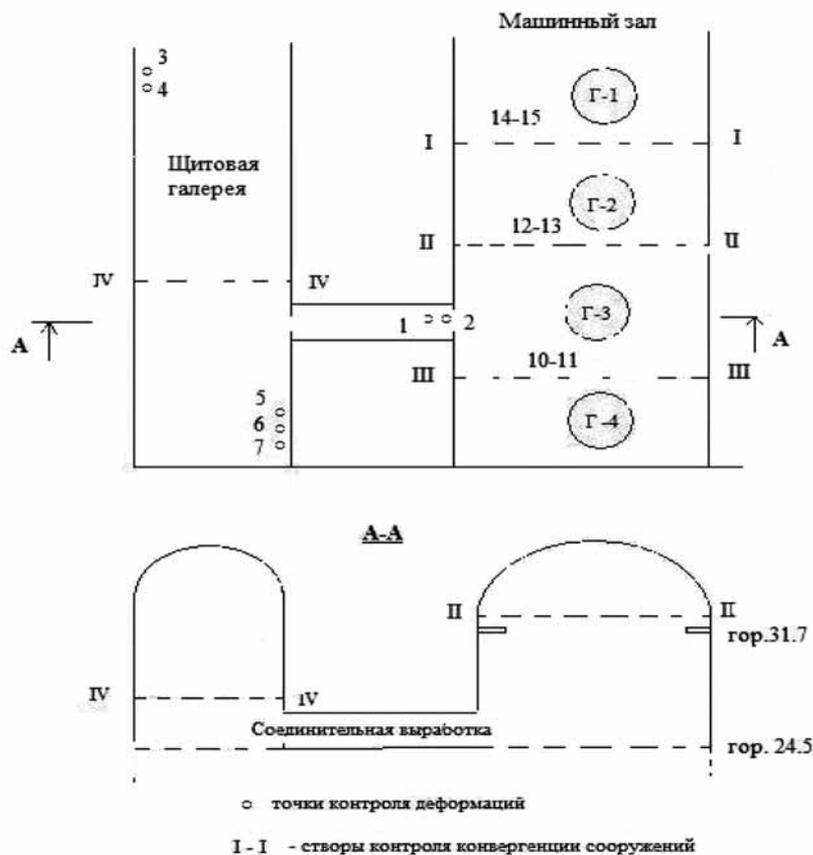


Рис. 5. Контроль параметров вынуждающих вибранагрузок (а, б) и собственных колебаний отдельных блоков породы (в, г) при отключенных генераторах в точках 1 (блок 3,0×2,5×0,8 м) и 5 (блок 1,0×1,0×0,5 м)

Рис. 6. Размещение створов контроля деформаций массива



Измерения выполнены с использованием аппаратуры «Minimate Plus» (Канада) при различных режимах работы генераторов трехкомпонентными датчиками по трем составляющим: Т – тангенциальная, V – вертикальная, L – осевая. Как видно из рисунка, наибольшую амплитуду смещений имеет осевая L компонента датчика в точке замера № 1. Она имеет направление перпендикулярное продольной оси машинного зала (вдоль оси соединительной выработки). Ввод в работу дополнительных генераторов почти пропорционально влечет за собой и рост амплитуд смещений. Амплитуды вибраций достаточно малы и, конечно, не могут провоцировать мгновенное разрушение такой прочной конструкции как скальный массив. Однако в таких рассуждениях не учитывается динамичность явления, то есть частотные характеристики колебаний блоков и общее время их воздействия на массив, составляющее на сегодня 45 лет. Частотные характеристики скоростей смещений и частотные спектры колебаний отдельных блоков породы в точках 1 и 5 приведены на рис. 5.

Вынужденные колебания блоков в точках 1 и 5 (рис. 5а, б) фиксируются с преобладающими частотами 38 Гц и 100 Гц, соответственно, и они близки по величинам частотам собственных колебаний

данных блоков (рис. 5в, г). Возникающие резонансные явления, даже при достаточно малых амплитудах смещений блоков, создают негативные явления от вынужденных колебаний породных блоков по их границам, снижают жесткость их закрепления в массиве с опасностью возникновения зон разуплотнений внутри него и даже потери устойчивости на обнажениях выработок, тем более что границы блоков в массиве представлены, в основном, трещинами отрыва. Размеры блоков, оцененные по данным натурных измерений, достаточно удовлетворительно коррелируют с аналогичными размерами деформируемого блока, оцениваемого аналитически по графику рис. 3.

Таким образом, принимая во внимание полученные результаты, становится ясным, что регистрируемые в массиве длительные вибровоздействия в состоянии изменить его свойства и не учет данного фактора может привести к возникновению аварийных ситуаций.

Для обеспечения комплексности геофизического мониторинга, проверки установленных тенденций изменчивости свойств пород, установленных методом сейсмической томографии, на участках машинного зала и щитовой галереи в настоящее время реализуется мониторинг деформаций массива и конвергенции стен большепролетных сооружений струнным дистометром JSETH (Швейцария), (рис. 6).

На рис. 7 приведены результаты этого контроля за период 2009–2010 гг. Знак минус у значения деформации соответствует сжатию измерительной струны и, соответственно, знак плюс – растяжению.

Говоря о тенденциях изменения деформаций, направленных вдоль оси щитовой галереи (см. рис. 6), по восьми циклам замеров (рис. 7а) отмечается лишь статистический разброс значений около средних значений, обусловленный как естественными процессами природной системы массива, так и внешними техногенными воздействиями.

Совершенно иная картина просматривается при контроле поперечных деформаций (направление измерения деформаций ортогонально осям машинного зала и щитовой галереи). За восемь циклов замеров установлен устойчивый положительный (раскрытие трещин) тренд деформаций на трещине в соединительной выработке, точка 4 (2-1), (рис. 7б), свидетельствующий о разуплотнении породного целика между машинным залом и щитовой галереей. В этом же направлении фиксировался и наибольший фон вибрационных нагрузок. К сожалению, измерения конвергенции стен самого машинного зала начаты только 1.06.2010 г. и получено всего три точки. Однако эти измерения также пока имеют однонаправленный по знаку характер. Установленные тенденции по измерениям деформаций на полигонах указывают на явную необходимость

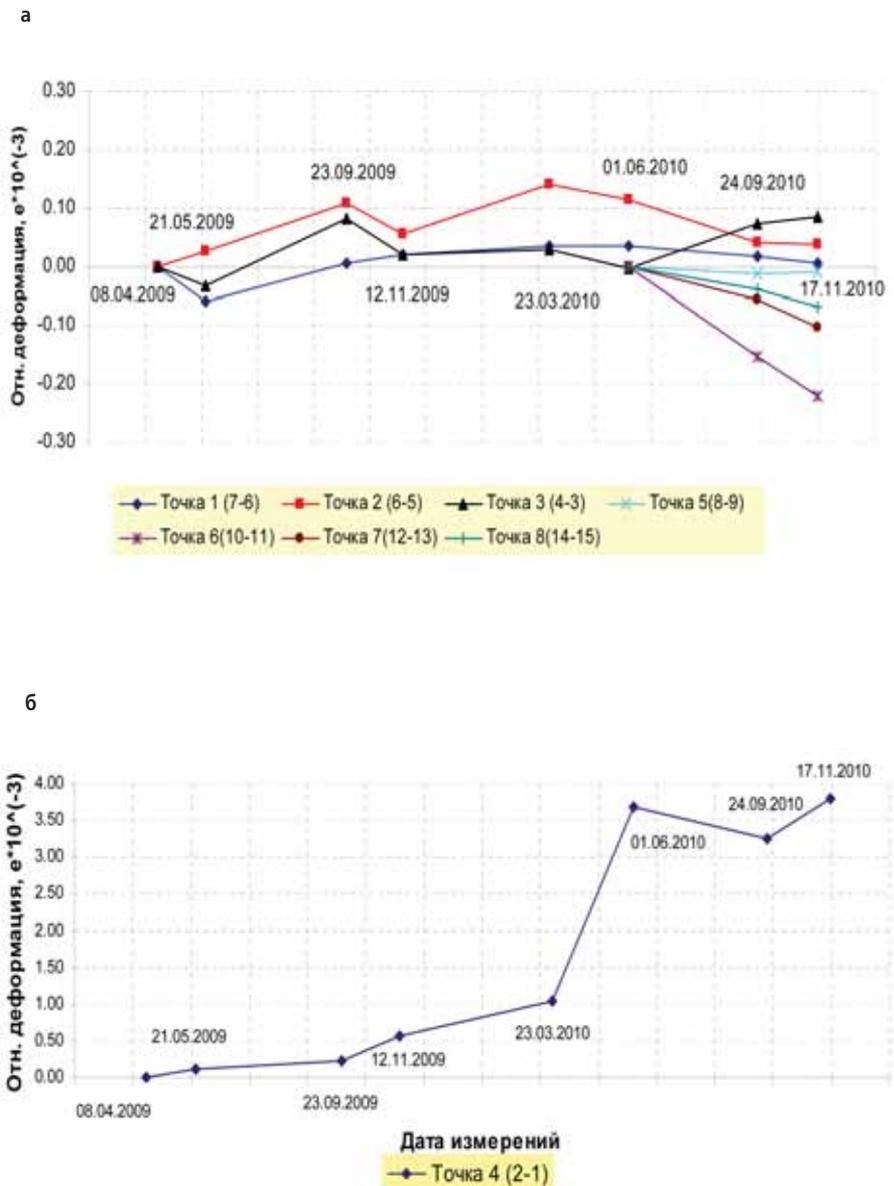


Рис. 7. Результаты замеров деформаций в контрольных точках массива 2009–2010 гг.

их продолжения для набора статистически значимых данных и установления основных причин опасного деформирования массива пород.

Таким образом, в результате выполненных геофизических исследований, установлено, что в зоне влияния динамических вибронгрузок массив пород проявляет себя как дискретная блочная среда, испытывающая колебания в диапазоне частот, близком к частотам собственных колебаний отдельных блоков. Длительное воздействие этих нагрузок на массив усиливает и ускоряет влияние естественных процессов выветривания, способствует ослаблению межблоковых связей массива и оказывает негативное воздействие на устойчивость приконтурного массива подземных сооружений. Полученные результаты показали целесообразность и

своевременность организованного геофизического мониторинга состояния подземных сооружений ГЭС-12. В настоящее время для обеспечения безопасной эксплуатации станции разработан регламент мониторинга, в соответствии с которым проводится комплекс мероприятий, включающий ежеквартальные инструментальные измерения деформаций массива на оборудованных полигонах, визуальный осмотр подземных сооружений с составлением дефектных ведомостей осмотров с рекомендациями технологических мер по поддержанию устойчивого состояния подземных сооружений. По результатам проводимого мониторинга разработаны проекты укрепления массива в районе машинного зала ГЭС с установкой дополнительных анкеров и бетонирования отдельных участков массива.



# ИСТОРИЯ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ГРУЗИИ

Г. П. Бокучава, Т. К. Чурадзе, К. А. Мchedlishvili, П. Б. Гамкрелидзе

## Памятники седой старины и недавнего прошлого

Современная Грузия одна из немногих стран мира, сохранившаяся до настоящего времени на части той исторической территории, которая издавна была заселена автохтонными, в данном случае картвельскими (грузинскими), племенами. Сохранились и возведённые этим народом памятники материальной культуры, созданные на протяжении более чем трех тысяч лет. От нашествий многочисленных захватчиков, будь то Ассирия или киммерийско-скифские племена, войска древнего Рима и Персии (с 1931 г. Иран), позже Византии, Турции и других завоевателей, наряду с населением страдала и инфраструктура страны. До основания разрушались жилые дома простолюдинов и дворцы феодалов, оборонительные и культовые сооружения. Однако буквально сразу после того, как захватчики покидали разграбленную и разрушенную страну, народ по мере сил начинал восстанавливать разрушенное, хотя многие населённые пункты и остались навечно в руинах. Естественно, в первую очередь восстанавливались оборонительные и культовые и лишь потом сооружения гражданского назначения.

Их неотъемлемой частью были подземные ходы, устроенные в виде тоннелей, предназначенные для прохода пешеходов по два-три человека в ряд. Эти сооружения служили для обеспечения скрытого от неприятеля сообщения, эвакуации, снабжения водой, провиантом и т. д.

Такой вид подземных коммуникаций был обязательным атрибутом почти каждого замка, монастыря, дворца. Эти ходы имели длину от нескольких десятков до сотен метров, а иногда и свыше километра. В виду рас-

положения многих строений на вершинах холмов и гор, перепад высот между начальными и конечными точками подземных сообщений нередко достигал, а иногда и превышал, 100–150 м, что, в частности, обеспечивало и хорошую вентиляцию. В случае отсутствия перепада высот и значительной длины тоннеля, для достаточной вентиляции умело использовались складки пересеченной местности, в которых устраивались хорошо замаскированные вентиляционные каналы, выполненные из глиняных труб. В большинстве случаев проходы в таких тоннелях были устроены в виде лестниц с довольно высокими ступенями, мало соответствующими нынешним стандартам.

Остатки этих подземных ходов сохранились в древних пещерных городах Уплисцихе (VI–IV в. до н. э.) и Вардзия (XII в. н. э.), городов крепостей Тмогви, Дманиси и др. (рис. 1, 2).

В наилучшей сохранности дошёл до наших дней подземный ход крепости Цихе Гуджи (Накалакеви) (рис. 3), построенный в III веке до н. э. правителем западной Грузии Куджи вблизи нынешнего г. Сенаки. Он обеспечивал сообщение главной цитадели с ущельем р. Техура. Подземный ход проложен в толще монолитного известняка. Тоннель слегка изогнут в плане, его ширина и высота позволяют свободное перемещение двух человек. Пешеходная дорожка выполнена в виде лестницы, выходящей прямо в русло реки, где заросшие кустарником отвесные скальные берега отлично маскировали выход из тоннеля.

Самое значительное в Грузии подземное сооружение с точки зрения строительного искусства – это монастырский комплекс Вардзия, построенный в конце XII в. на юге

Грузии в ущелье р. Кура вблизи г. Ахалцихе. Комплекс состоит из высеченных в отвесной скале из туфобрекции 13 этажей на ширине более чем 500 м. Вся архитектура комплекса подчинена предварительно выработанной композиционной идее: 42 комплекса, состоящих из 120 жилых и других помещений, устроены в глубине скалы вокруг расположенной в центре церкви успения Святой Богородицы с прижизненными портретами строителей, царицы Тамары и её отца царя Георгия III. Просторные кельи жилых комплексов снабжены нишами для книг, посуды, постели. Имеется весь комплекс вспомогательных сооружений, включая продуктовые склады, винохранилища, даже аптека с многочисленными небольшими нишами для хранения лекарств. Все помещения связаны переходами и лестницами. Имеется местный источник питьевой воды и вместительный бассейн, всегда наполненный кристально чистой свежей водой. По высеченному в скале тоннелю дополнительно проведён также водопровод длиной 3,5 км. Вызывает удивление мастерство архитекторов раннего средневековья Грузии, запроектировавших и построивших в глубине скального массива такое сложное сооружение, которое до землетрясения XV в. на поверхность скалы выходило только окнами и единственным наружным выходом, защищённым стальной дверью.

Комплекс имел и подземный ход, проложенный в виде тоннеля малого заложения от монастырского комплекса до реки Куры. При землетрясении XV в. обрушилась вся фасадная часть и обнажилась часть тоннеля, после чего он прекратил функционирование.

Распад Грузии на три царства и несколько княжеств в конце XV в. значительно повлиял на масштабы капитального строительства в стране. С этого периода до конца XVIII в. имеются лишь отдельные случаи использования подземного пространства при возведении царских дворцов и караван-сараяв в основном в Тбилиси, реже в Телави и Сигнахи. Эти помещения представляли собой выдолбленные в скальном массиве или в грунте III–V категории пространства на 5–7 м ниже нулевой его отметки при отсутствии грунтовых вод. Чаще всего они перекрывались сводами из кирпичной кладки на известковом растворе и имеют два-три этажа.

Во дворцах самые нижние подземные этажи предназначались для хранения льда и скоропортящихся продуктов, а в подземных этажах караван-сараяв – товаров. Такими, в частности, являлись дворцы царей Ростомы, Вахтанга VI, Ираклия II, построенные в XVI–XVIII вв. у берегов р. Куры в Тбилиси, а также караван-сарай, расположенные в центре Тбилиси.

Рис. 1. Пещерный город Уплисцихе



При нашествии персидского шаха Аги-Магомета Хана в 1795 г. все значительные сооружения города вместе с серными банями, выдолбленными в плотных песчаниках, были разрушены до основания. Подземные помещения были взорваны, и лишь культовые сооружения остались в относительной сохранности.

### Подземные сооружения XIX–XX вв. Перспективы их развития и использования

Значительное по своим масштабам строительство подземных объектов было развернуто в Тбилиси с начала 20-х гг. XIX столетия. Одно из первых сооружений этого периода – это подземный коллектор, построенный из плоского кирпича на известковом растворе, предназначенный для отвода ливневых вод, протекавших по руслу глубокой балки Авана-антхеви вдоль нынешней ул. Г. Леонидзе через площадь Свободы и ул. Бараташвили с выходом к р. Куре. В период весенних проливных дождей бушующий поток сносил в реку временные мосты и берегоукрепительные сооружения, часто менял русло, были случаи уноса арб и фургонов вместе с грузом и пассажирами. Размеры коллектора, при наличии продольного уклона 4–5 %, позволяли пропускать поток расходом более 4–5 м<sup>3</sup>/с, а полученная после засыпки балки свободная территория стала застраиваться. Однако значительная ее часть площадью более чем 1,5 га осталась свободной. Предприимчивый купец Г. Тамамшев выкупил ее у князя Э. Цицишвили. Известный в Тбилиси итальянский архитектор Дж. Скудиери обратил недостаток местности в достоинство, возведя в 1847–1851 гг. обширное (на площади около 1 га) здание караван-сарая с подземной частью в четыре этажа. Тем самым он сэкономил на производстве земляных работ не менее 40 % объема за счёт свободного пространства, оставшегося от русла балки. Первый надземный этаж обширного здания использовался для торговых помещений, а на верхних разместилось театральное помещение, своей красотой, изысканностью и богатством интерьера вызывающее восторг всех посетителей, включая известных европейцев, например Дюма-отца. В этом помещении был организован итальянской труппой первый оперный театр в Тбилиси, который просуществовал до 1875 г. После случившегося в том же году пожара владелец перестроил здание и отказался от размещения в нем театра. В таком виде здание просуществовало до конца 20-х гг. XX в., когда для создания обширной площади в центре города верхняя часть здания была снесена, а нижняя замурована путем нанесения сверху асфальтобетонного покрытия.

Удачный пример использования естественного рельефа для устройства обширной подземной части здания был осуществлён в Тбилиси в начале XX в. В середине 50-х гг. XIX в. граница города проходила в конце нынешнего проспекта Руствели, где пролегла глубокая балка. Возле неё были размещены таможня и застава, названная Москов-

ской. Вскоре в балке построили ливневый коллектор, засыпали её, и на полученной территории была проложена ул. Московская, благоустроенная тротуарами, мостовой и ливнеприёмниками. Конец коллектора был выведен на высокий обрыв правого берега р. Куре. За несколько десятилетий ливневые воды, вытекающие из коллектора, образовали глубокую и широкую промоину. К концу XIX в. это место уже оказалось в центральной части города и городское правление решило благоустроить территорию. Известный тбилисский архитектор Генрих Гриневский разработал проект доходного дома в стиле модерн. Фасад здания украсили горельефом известного позднее грузинского скульптора Я. Николадзе. Архитектор умело использовал рельеф местности. Он удлинил коллектор и в огромном пустом пространстве выстроил обширное подземное помещение, где разместился театральный зал на 500 мест с соответствующими вспомогательными и складскими помещениями для шикарных магазинов, расположившихся на первом этаже дома, который до сих пор остаётся одним из лучших зданий на проспекте Руствели.

После прокладки подземного перехода на проспекте Руствели, упирающегося в подвальную часть вышеупомянутого здания, был прорезан дополнительный вход в здание, что значительно облегчило доступ в его подземную часть и существенно улучшило архитектурный облик подземного пространства.

Аналогичный вход можно устроить из обширного подземного перехода под площадью Свободы в ныне замурованное трёх-четырёхэтажное подвальное помещение бывшего караван-сарая, охватывающий территорию размером 90×100 м. После соответствующего благоустройства упомянутого подземного пространства Тбилиси получит в самом центре города около 30 тыс. м<sup>2</sup> свободной площади под рестораны, кафе, выставочные залы и т. д. Несмотря на неоднократное обращение авторов этой статьи к



Рис. 2. Пещерный город Вардзия



Рис. 3. Подземный ход крепости Цихе Годжи (Накалакеви)

работникам мэрии Тбилиси, вопрос о проведении разведочных работ и предварительных изысканий для разработки проекта остаётся без ответа. Поиски в архивах проектных материалов караван-сарая пока не увенчались успехом.

Это предложение заслуживает большого внимания, т. к. в Тбилиси в старом центре города имеются обширные подземные выработки, ныне замурованные и покинутые. К такому можно отнести подземные винные склады на территории под названием «Пески» на левом берегу Куре, замурованный подвал здания детского творчества на ул. Бараташвили и др. Имеются и положительные примеры: это несколько ресторанов, построенных в подвальных помещениях старин-



Рис. 4. Двухполосные тоннели под Метехским плато

ных зданий, где очищенная кирпичная кладка на белом известковом растворе вместе со сводами и куполами создаст великолепный по красоте интерьер. Примером может служить и известный ресторан «Майдан» в районе серных бань.

Проведённое авторами в 2008–2009 гг. при разработке проектов реабилитации сети улиц и подземных коммуникаций обследование старой части города на правом берегу р. Куры показало, что очень многие старые дома высотой в два-три этажа, возведенные после 20-х гг. XIX в., настолько амортизированы, что не подлежат восстановлению. Основная причина – деформация фундаментов, которые заложены на так называемом культурном слое, достигающем в некоторых местах толщины 1012 м.

Фундаменты немало числа домов постройки этого же периода расположены на скальном основании. Под ними имеются обширные подвальные помещения глубиной 4–5 м от нулевого уровня. Большинство этих домов имеют оригинальный архитектурный облик и после благоустройства и адаптации к современным требованиям их можно успешно использовать для размещения неболь-

ших гостиниц, туристических бюро и т. п. для обслуживания всё нарастающего потока туристов.

XX век в развитии инфраструктуры г. Тбилиси характеризуется большими темпами строительства, в том числе и по линии освоения подземного пространства. В 1902 г. через Сололакский хребет в плотных песчаниках горным способом был сооружен пешеходный тоннель, соединяющий ботанический сад и застроенный шикарными зданиями самый престижный район г. Тбилиси – Сололаки.

В советское время тоннель являлся объектом гражданской обороны. После 1995 г. мэрия передала его в аренду частной фирме и там была организована дискотека. С 2007 г. тоннель закрыт. Восстановление в нем пешеходного движения позволит жителям г. Тбилиси и его гостям за считанные минуты оказаться в изумительном по красоте и прохладе ботаническом саду, занимающим несколько гектаров.

Значительное подземное сооружение, построенное горным способом в конце 70-х гг. прошлого века, – это два параллельных двухполосных тоннеля под Метехским плато

(рис. 4). Они предназначены для обеспечения сквозного непрерывного движения потока автомобилей по левому берегу р. Куры. Длина тоннелей около 2000 м. Они снабжены вентиляцией, рассчитанной на интенсивное автомобильное движение. Обделка выполнена из монолитного бетона, а припортовые участки – из железобетона.

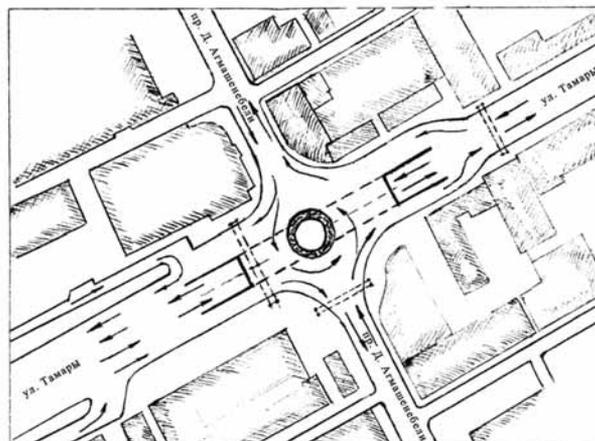
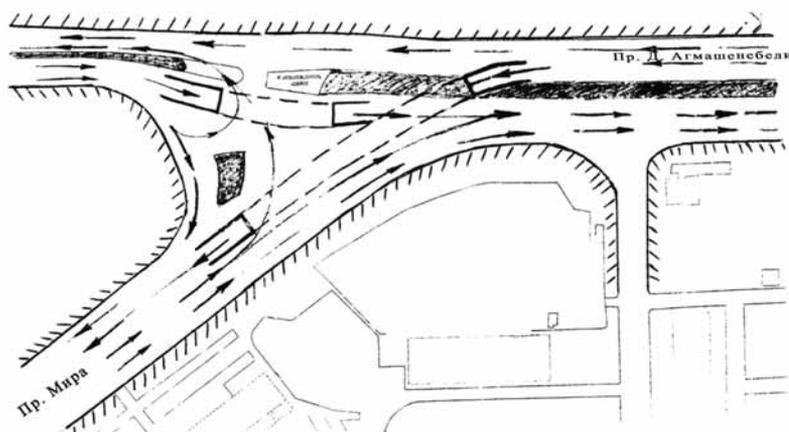
Учитывая сильно пересечённый и горный рельеф грузинских городов Батуми, Чиатура, Ткибули, Гагры и т. д., сооруженные горным способом тоннели могут сыграть значительную роль в оптимизации транспортной схемы. Однако эти возможности пока не реализованы, за исключением обходов Батуми и Гагры.

Авторы неоднократно обращались в мэрию г. Тбилиси с предложением проложить два тоннеля в толще хребта Икалто-Бахтриони, чтобы связать два района Тбилиси – Ваке и Сабуртало. Используя высокую пропускную способность широкой и прямой Сабурталинской улицы, тоннели длиной по 160–200 м каждый, пройденные в толще глинистых сланцев, вместе с ажурными высокими виадуками через довольно глубокое ущелье р. Вэре, могут соединить поперечной транспортной связью ул. Сабурталинскую с наиболее загруженной магистралью г. Тбилиси проспектом И. Чавчавадзе и тем самым значительно разгрузить его.

Вместо этого мэрия проложила скоростную четырёхполосную магистраль непрерывного движения длиной около 3 км в узком ущелье р. Вере, запрятав речку в металлические трубы большого диаметра и устроив насыпь. Тем самым мэрия получила так называемую коммерческую площадь для застройки и лишила два больших, густонаселённых района города великолепной возможности использования уникального природного ландшафта с остатками девственного леса для создания рекреационной зоны типа Сити-парка в Нью-Йорке.

В Тбилиси и в других городах Грузии с большим успехом можно в тоннелях горного типа организовывать высококомеханизированные автостоянки и гаражи в несколько этажей. Горные массивы, разделяющие г. Тбилиси на отдельные районы, в ос-

Рис. 5. Схемы устройства транспортной развязки с использованием транспортных тоннелей мелкого заложения, сооружаемых открытым способом



новном состоят из однородных плотных аргиллитов, песчаников или их послойных напластований. На территории города относительно мало грунтовых, тем более агрессивных вод (за исключением некоторой части территории Тбилиси – Авлабари и Кала). Такие геологические условия, наряду с рельефом местности, создают весьма благоприятные условия для строительства тоннелей горным способом с целью улучшения движения потоков надземного транспорта, стоянки автомобилей, устройства объектов гражданской обороны, хозяйственного и оборонного значения.

Весьма значительным компонентом городской инфраструктуры являются тоннельные сооружения, выполненные открытым способом. Это, в первую очередь, подземные переходы и подземные комплексы, включающие объекты транспортного, торгового, культурного и другого назначения.

Первые подземные переходы в Грузии появились в Тбилиси в конце 50-х гг. прошлого века. Они были проложены на ул. Ленина (ныне ул. Костава) между учебными корпусами Грузинского политехнического института и на проспекте Руставели возле здания Академии наук Грузии, расположены перпендикулярно оси улицы и выполняли только транспортную функцию: разделяли потоки пассажиров и автомобилей. В течение нескольких лет в центральной части города появилось множество аналогичных подземных переходов. Все они были сооружены открытым способом и с использованием сборных железобетонных конструкций. Благодаря круглосуточной организации работ строительство составлял от двух до четырёх недель. Эти подземные переходы сыграли существенную роль в улучшении условий движения пешеходных и транспортных потоков, благоприятно повлияли на экологическую обстановку. Однако здесь уместно отметить одно явление, характерное для Тбилиси, аналог которого авторы не наблюдали в городах западной и восточной Европы, за исключением городов стран южного Кавказа: несмотря на непрерывный поток автомобилей,двигающихся с временными интервалами 1–1,5 с, определённая часть пешеходов предпочитает пересекать улицу по проезжей части прямо над подземным переходом. Удобные лестницы с пандусами для колясок, минимальное углубление отметки проезжей части подземного перехода, зимний подогрев лестниц против обледенения, наличие барьеров вдоль улицы не влияют на поведение «любителей» кратчайшего расстояния. Отсюда вывод: на пересечении пешеходных потоков с автотранспортом в подземное пространство целесообразнее пропускать автомобили, а пешеходам предоставить проезжую часть с соответствующим планировочным решением.

На рис. 5 представлены принципиальные схемы устройства транспортных развязок на наиболее перегруженных узлах г. Тбилиси, предложенные одним из авторов статьи К. Мchedlishvili. Разделение потоков авто-

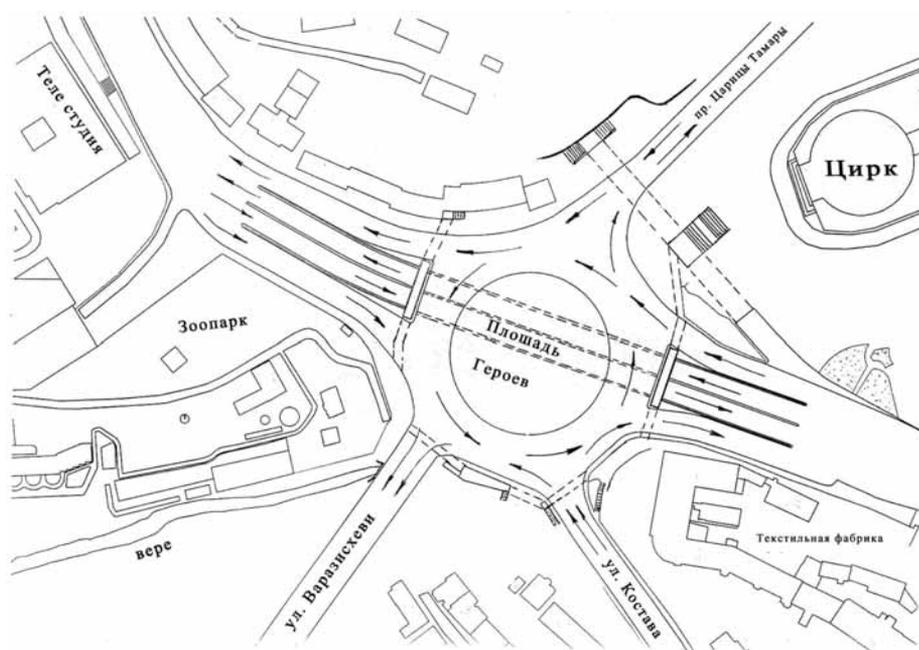


Рис. 6. Схема транспортной развязки на площади Героев в Тбилиси

мобилей предусмотрено с использованием транспортных тоннелей мелкого заложения, сооружаемых открытым способом, а пешеходов переправлять на пешеходные мосты, возведенные из металлических конструкций, нашедших за последнее время широкое применение на перекрестках г. Тбилиси из-за низкой стоимости, удобства строительства и эксплуатации. Однако недостаток, характерный для подземных пешеходных тоннелей, присущ и этому способу разделения потоков.

Период 1965–1975 гг. характеризуется интенсивным транспортным строительством в г. Тбилиси, включая многочисленные подземные сооружения в виде объектов комплексного назначения. Среди других факторов, положительно влияющих на этот процесс, нужно отметить большой личный вклад председателя Тбилгориспокома Шота Бухрашвили, инженера-дорожника по специальности, прошедшего хорошую школу тогдашнего Тбилисского филиала «Союздорпроект», и прекрасного архитектора, принципиального руководителя, большого патриота г. Тбилиси, главного архитектора города Шота Кавлашвили.

На рис. 6 представлена схема транспортной развязки на площади Героев (арх. К. Нахуришвили). Автор использовал сооруженный открытым способом тоннель для пропуска наиболее интенсивного потока автомобилей, а саморегулирующееся кольцевое движение – для второстепенных, одновременно разработав весьма удобную схему организации пешеходного движения и получив большой объём подземного пространства для размещения объектов культурного, торгового и другого назначения. Развязка успешно эксплуатировалась свыше 35 лет. В настоящее время время идёт её реконструкция.

На рис. 7 приведена схема подземного комплекса на площади Орбелиани (автор

арх. Ш. Кавлашвили). Красивый архитектурный облик, удобство перемещения пешеходов по широким пандусам и лестницам, рациональное расположение многочисленных объектов торговли, использование для оформления интерьеров старинных фотоснимков г. Тбилиси и остатков ливневого коллектора начала XIX в. придаёт комплексу неповторимый облик.

В этот же период сооружен подземный комплекс на стыке улиц М. Костава и П. Меликишвили перед зданием Большого концертного зала филармонии (рис. 8). В подземной части удобно размещены торговые объекты. Имеется прямой выход в прилегающий парк в виде широкого и покатого пандуса. Недостатками комплекса являются довольно крутые лестницы со стороны ул. П. Меликишвили и невозможность реконструкции без полной её перестройки по мере значительного увеличения интенсивности движения автомобилей на находящемся сверху транспортном узле.

Авторы статьи неоднократно предлагали руководителям города расширить узкую, переполненную потоками автомобилей, улицу М. Костава от Большого концертного зала филармонии в сторону площади Героев путем сноса двух-трехэтажных зданий на правой стороне улицы, не представляющими ни исторической, ни архитектурной ценности. Исключение составляли два пятиэтажных здания, которые можно было сместить в сторону парка «Вэре» на 8–10 м. Таким образом, вместо узкой, темной улицы город получил бы широкую магистраль с вековыми платанами по разделительной полосе по подобию реконструированной ул. Н. Бараташвили. Открылся бы вид на зелёный массив парка с панорамой снежных вершин Кавказа, появилась бы возможность устройства обширной автостоянки возле филармонии.

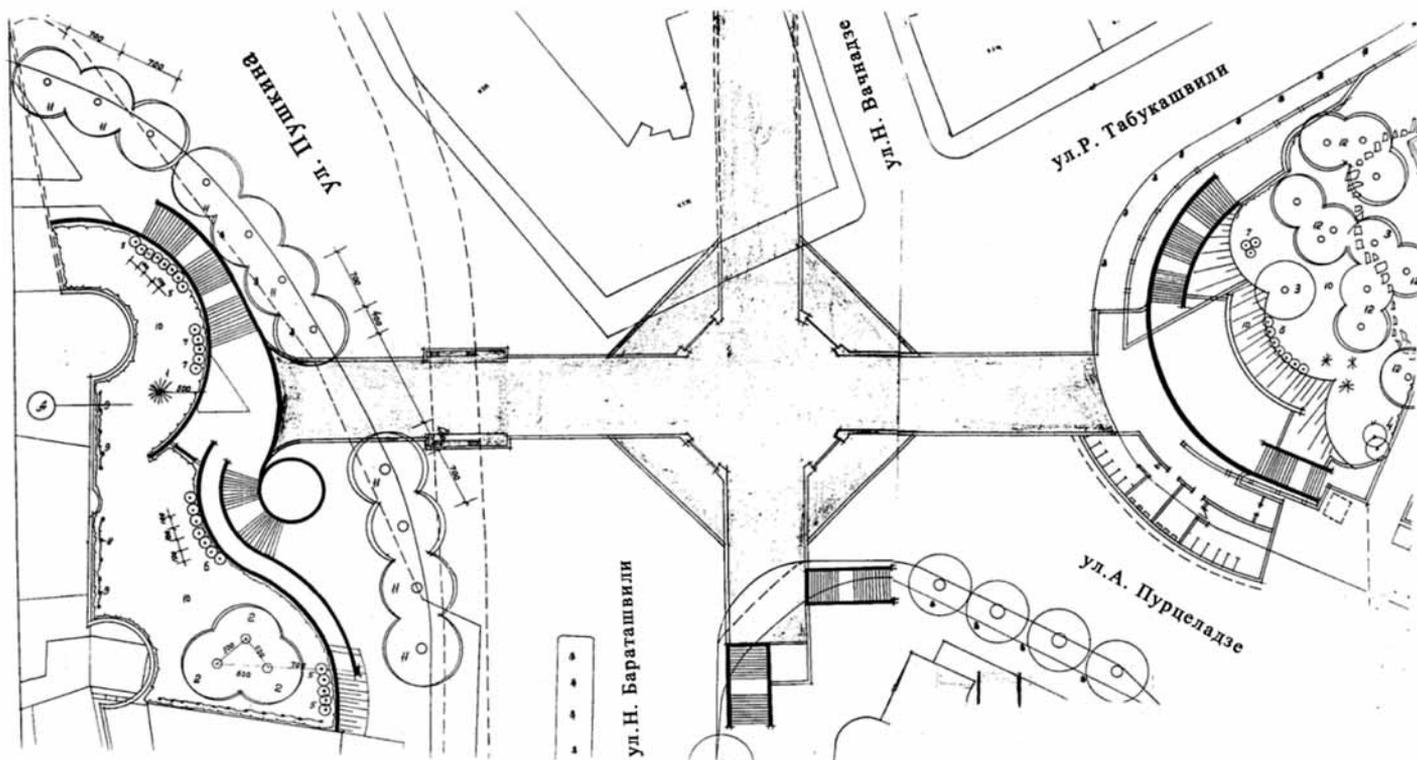


Рис. 7. Схема подземного комплекса на площади Орбелиани



Рис. 8. Подземный комплекс на стыке улиц М. Костава и П. Меликишвили перед Большим концертным залом филармонии

Вместо этого двух-трехэтажные ветхие здания спешно были снесены, и на их месте вдоль старой красной линии были выстроены многоэтажные «доходные» дома. Теперь единственная возможность увеличить пропускную способность этого отрезка улицы – устройство двухъярусного движения встречных потоков автомобилей с расположением нижнего яруса в тоннеле, сооружаемом открытым способом. Всё это будет связано с большими затратами материальных и финансовых ресурсов, временным прекращением движения и перебросом огромного потока автомобилей по альтернативным маршрутам, переносом большого количества подземных коммуникаций, пересекающих ули-

цу в поперечном направлении. Всё это осуществимо, но возможность улучшения архитектурного облика потеряна навсегда.

Из подземных объектов, возведенных за последние годы в Тбилиси, можно отметить транспортный узел с подземным переходом возле парка Победы. Развилка в конце проспекта И. Чавчавадзе устроена в виде транспортного узла кольцевого типа. Центральный остров является круглым фонтаном с весьма оригинальными скульптурами музыкантов (рис. 9). Дно его в виде стеклянного перекрытия добавляет естественную освещённость подземному пространству, где кольцеобразно размещены торговые помещения. Подземное пространство имеет широкий выход в парк (рис. 10), откуда открывается его панорама и триалетского хребта с устроенным на склоне большим каскадом фонтанов (автор арх. К. Нахуцришвили). В нижней части каскада расположены Могила Неизвестного Солдата и скульптурная группа, олицетворяющая погибших воинов. Таким образом, налицо удачное сочетание транспортного узла, кольцеобразно расположенных торговых рядов, обзорной пло-

щадки и фонтана с оригинальной скульптурной группой.

В 1980-е гг. построен большой подземный комплекс перед новым, гигантским по Тбилиским масштабам, зданием железнодорожного вокзала (автор арх. Г. Шавдия). Перед ним оборудованы обширные стоянки для общественного и легкового транспорта, а в подземной части – многочисленные магазины, ювелирные мастерские и т. п. В связи с переносом железнодорожной линии, отсекающей 1/3 площади города от остальной её части, сейчас здание вокзала превращено в торговый центр, имеющий подземную часть большого объема. Она используется под торговые залы, складские помещения, автостоянки и т. п., имея весьма удобный доступ для посетителей, приехавших на автомобилях или общественным транспортом.

Среди подземных сооружений г. Тбилиси заслуживает внимания так называемый движущийся тротуар, единственный в бывшем СССР. Он был построен в конце 70-х гг. прошлого века от станции метро «Самгори» под скоростной автомагистралью непрерывного движения Тбилиси – Аэропорт. Длина тоннеля, сооруженного открытым способом, 106 м, ширина поперечного сечения 5,6 м. Две ленты движущегося тротуара передвигались со скоростью 0,9 м/с и перевозили в обоих направлениях около 16 тыс. чел/ч. В период глубокого экономического кризиса в Грузии 1993–1999 гг. его оборудование демонтировали и уложили обычный тротуар с торговыми палатками с одной стороны. Движущийся тротуар показал свою высокую эффективность и целесообразно его восстановить, а также смонти-

ровать и в других местах, особенно возле вокзалов и аэропортов, где большое скопление пешеходов с ручной кладью и багажом, а расстояния превышают 40–50 м.

Одно из значительных подземных сооружений, предназначенных для хранения и выдержки вин, возведено в винодельческом регионе Кахетии возле г. Кварели, на родине знаменитого полусухого вина «Киндзмараули». Проект разработан в институте «Грузгипрошахт», а строительство осуществлено грузинскими специалистами Тбилтоннельстрой. Винохранилище расположено в скальном массиве и имеет два транспортных тоннеля длиной 500 м. Габариты тоннелей обеспечивают свободное перемещение двух встречных грузовых автомобилей. От транспортных тоннелей предусмотрены ответвления в поперечном направлении, где размещены стеллажи для хранения вин. Общая длина тоннелей 7,5 км. В них устроена вентиляция и поддерживается постоянная температура 12–14 °С. Вместимость хранилища составляет 2 млн декалитров вина. В настоящее время комплекс находится на консервации.

Еще одним значительным подземным сооружением является овощехранилище в Аджарии в нескольких километрах от Батуми. Проект разработал Грузгипрошахт, строительство осуществлял Тбилтоннельстрой. Сооружение подземного комплекса началось после завершения Рикотского автотранспортного тоннеля в 1981 г. Строительство велось в сложнейших гидрогеологических условиях. Скальные породы были представлены туфобрекчиями и андезитом с многочисленными глиняными прослойками с большим содержанием грунтовых вод.

Здесь также была использована схема с двумя основными транспортными тоннелями с поперечным расположением восьми тоннелей с каждой стороны, где размещены 28 камер для хранения овощей. Тоннели оборудованы освещением, вентиляцией, кондиционерами для поддержания температурного режима. Общая площадь подземного сооружения достигает 9730 м<sup>2</sup>, вместимость – 10 тыс. т овощей. С начала 1990-х гг. объект законсервирован.

### **Основные направления дальнейшего развития подземного строительства в Грузии**

Развитие подземного строительства в Грузии на ближайший период целесообразно вести по следующим направлениям:

- тоннели транспортного и гидротехнического назначения;
- оборонные объекты, в первую очередь, долговременные узлы обороны на склонах гор по стратегическим направлениям, подземные командные пункты, бомбоубежища, складские помещения;
- объекты туристического и сельскохозяйственного назначения (благоустройство карстовых пещер, вино и овощехранилища, помещения для выращивания грибов и других культур);



**Рис. 9. Скульптурная группа над подземным переходом возле парка Победы**



**Рис. 10. Выход из подземного перехода возле парка Победы**

- помещения складского, торгово-хозяйственного назначения, в первую очередь подземные хранилища газообразного топлива, а также подземные склады для хранения стратегических запасов, подземные супермаркеты с подсобными помещениями;
  - спортивные и концертные залы, плавательные бассейны и т. п.
- Для развития подземного транспортного строительства необходимо:
- совершенствование сети метрополитена в г. Тбилиси с введением в строй предусмотренных в проектах существующих станций, дополнительных входов и выходов; прокладка новых линий и возведение новых станций в центральной части города с плотной застройкой; отказ от соединения центральной части города с малозаселён-

- ной окраиной через дорогостоящие подземные коммуникации с переходом на гораздо дешевле линии скоростного трамвая;
  - расширение строительства транспортных развязок с использованием тоннелей мелкого заложения, пройденных открытым способом, а также устройство подземных автомобильных стоянок под проектируемыми зданиями;
  - устройство автомобильных стоянок в тоннелях, сооружаемых горным способом под существующими зданиями и в складках местности.
- Вместе с тем целесообразно широкое использование в городском строительстве подземных коллекторов комплексного назначения для размещения кабелей связи, электропитания, трубопроводов газо- и водоснабжения, отвода сточных вод и т. д.



## Памяти Бориса Николаевича Виноградова



23 марта 2011 г. на 94-м году ушел из жизни Борис Николаевич Виноградов – ведущий научный сотрудник НИЦ ТМ, кандидат технических наук, лауреат премии Совета Министров СССР, старейший ученый института. Ушел последний из славной когорты инженеров-тоннель-

щиков – создатель науки метростроения, организаторов отделения тоннелей и метрополитенов.

Все 70 лет трудовой деятельности (60 лет научного стажа) отданы Борисом Николаевичем метростроению: с 1941 г. после окончания МИИТа – шахты, тоннели метро и другие подземные сооружения Москвы военного и послевоенного периода, с 1948 г. – МПС – инспектор военного отдела ГУУЗ, с 1950 г. – старший, а затем ведущий научный сотрудник ЦНИИ МПС и ЦНИИСа.

Главной стратегической задачей, поставленной и решенной Б. Н. Виноградовым, было определение реальных нагрузок на подземные конструкции строящихся метрополитенов страны. Поскольку на горное давление, определяемое по многочисленным, порою противоречивым гипотезам, накладывается десяток конструктивных и технологических факторов, решать ее можно было только весьма сложным и трудоемким способом – путем натуральных измерений.

Методики, измерительная аппаратура и, наконец, многочисленные измерения на строящихся тоннелях метро Москвы, Ленинграда и Киева позволили Б. Н. Виноградову, впервые в мировой практике, занормировать нагрузки и коэффициенты надежности тоннелей, без которых практически невозможно грамотно запроектировать подземные конструкции.

Многолетние натурные исследования напряженно-деформированного состояния конструкций перегонных тоннелей и станций метро послужили основой для их радикального совершенствования. Борис Николаевич – разработчик многих нормативных документов по проектированию и сооружению тоннелей и метрополитенов. С ним было интересно работать, он всегда был готов помочь, поделиться энциклопедическими знаниями метро- и тоннелестроения.

Память о Борисе Николаевиче – талантливом ученом и великом труженике навсегда останется в сердцах его коллег и друзей.

## Памяти Владимира Аслан-Бековича Бессолова



14 мая 2011 г. после тяжелой продолжительной болезни скончался Владимир Аслан-Бекович Бессолов.

Он родился 28 мая 1939 г. в пос. Болоховка Болоховского района Тульской области. В 1961 г., окончив Мос-

ковский горный университет, Владимир Аслан-Бекович получил профессию горного инженера и с честью пронес это гордое звание в течение всей своей жизни.

Глубокие инженерные знания и огромный опыт организатора строительства В. А-Б. Бессолова вложены в возведение сложнейших объектов транспортной инфраструктуры нашей страны. При его непосредственном участии и под его руководством сооружены многие станции и десятки километров перегонных тоннелей Московского метрополитена. На протяжении многих лет он руководил УС «Бамтоннельстрой», которым в эти годы были построены и введены в эксплуатацию Байкальский, Северомуйский, Мысовые и другие тоннели на Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, на которых освоены и отработаны самые современные технологии тоннелестроения.

С 1990 по 2000 г. В. А-Б. Бессолов возглавлял УС «Тоннельметрострой» Корпорации «Трансстрой», а в 2000 г. был назначен начальником Управления строительства Лефортовского тоннеля – уникальнейшего в инженерном отношении транспортного сооружения г. Москвы.

За огромный вклад в строительство крупнейших транспортных объектов в нашей стране Владимир Аслан-Бекович Бессолов награжден орденом «Герой Социалистического труда», удостоен почетных званий «Заслуженный строитель РФ», «Почетный транспортный строитель» и др.

Глубоко скорбим о безвременной кончине нашего коллеги и товарища и выражаем глубокое соболезнование его родным и близким.

Память о Владимире Аслан-Бековиче Бессолове навсегда сохранится в наших сердцах.

*Тоннельная ассоциация России*