

*Уважаемые коллеги!*

*По традиции, в преддверии Нового года мы подводим итоги нашей работы в уходящем году и строим планы на будущее. С уверенностью можно сказать, что 2023 год был для российских тоннелестроителей чрезвычайно плодотворным.*

*В столице нашей Родины – Москве последовательно и целеустремлённо формируется эффективная и надёжная система пассажироперевозок:*

- введена в эксплуатацию Большая кольцевая линия Московского метрополитена – это более 70 км перегонных тоннелей и 31 станция, большинство из которых являются пересадочными на другие линии метрополитена, станции МЦК и МЦД;*

- 6 сентября 2023 г. состоялось открытие нового участка Солнцевской линии Московского метрополитена в сторону аэропорта Внуково протяженностью 4,9 км, с двумя станциями – «Пыхтино» и «Аэропорт Внуково». Это событие является знаковым, поскольку впервые в нашей стране метрополитен связал город с одним из крупнейших аэропортов России;*

- 7 сентября 2023 г. были открыты ещё три станции на Люблинско-Дмитровской линии Московского метрополитена – «Яхромская», «Лианозово» и «Физтех»;*

- успешно и в короткие сроки проведена реконструкция перегонных тоннелей и станции «Коломенская» Замоскворецкой линии Московского метрополитена.*

*В ноябре 2023 г. в Сковородинском районе Амурской области на Транссибе произведен технический пуск Кераского двухпутного железнодорожного тоннеля протяженностью 926 м. Пуск в постоянную эксплуатацию этого тоннельного сооружения, который назначен на середину декабря текущего года, станет очередным шагом в реализации мероприятий, направленных на увеличение пропускной способности Транссиба и Байкало-Амурской железнодорожной магистрали.*

*Члены Тоннельной ассоциации России по праву могут гордиться результатами своей работы – построенные и введенные ими в эксплуатацию объекты заметно влияют на повышение эффективности транспортного обслуживания населения нашей страны, вносят достойный вклад в развитие экономического потенциала России. Не случаен, поэтому, тот факт, что указом Президента Российской Федерации В. В. Путина от 23 января 2023 г. учрежден профессиональный праздник «День метростроителя», который мы впервые отметили 2 октября 2023 г. Это высокая оценка труда метростроителей всех поколений и ко многому обязывает всех нас.*

*Достиженные в 2023 г. результаты работы не могут являться поводом для усложнения – новый 2024 год ставит перед нами новые задачи, и я уверен, что метро- и тоннелестроители готовы к достижению новых высот в своём профессиональном мастерстве и успешно справятся с реализацией всех проектов, а они не менее масштабны, чем в уходящем году:*

- продолжается развитие Московского метрополитена, заметные сдвиги в лучшую сторону намечаются при строительстве и развитии метрополитенов в городах Санкт-Петербург, Казань, Нижний Новгород, Самара, Екатеринбург, Красноярск, Новосибирск и др. Вполне предсказуемо, что наряду со строительством новых линий и станций метрополитенов, будут возрастать и объёмы работ по ремонту и реконструкции объектов действующих метрополитенов;*

- возрастают объёмы работ по развитию транспортной инфраструктуры Восточного полигона нашей страны, большинство из них связано с повышением пропускной способности Транссиба и Байкало-Амурской железнодорожной магистрали;*

- продолжается развитие транспортной сети в Краснодарском крае и Крыму.*

*Не входя в детали намеченных планов, могу засвидетельствовать лишь то, что в 2024 г. метро- и тоннелестроители России станут активными участниками реализации многих интересных и значимых для страны проектов. Уверен, что все эти планы будут с успехом выполнены.*

*Разрешите мне от имени правления Тоннельной ассоциации России поздравить всех членов ассоциации с наступающим Новым 2024 годом и пожелать вам и всем вашим родным и близким здоровья, счастья, больших успехов в вашем благородном труде и долгих лет жизни!*

**Председатель правления  
Тоннельной ассоциации России**

**К. Н. Матвеев**

Журнал

Тоннельной ассоциации России, входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

**Председатель редакционной коллегии**

**К. Н. Матвеев**, председатель правления ТАР

**Зам. председателя редакционной коллегии**

**И. Я. Дорман**, доктор техн. наук

**Ответственный секретарь**

**С. В. Мазеин**, доктор техн. наук, зам. руководителя Исполнительной дирекции

**Редакционная коллегия**

В. В. Адушкин, академик РАН

В. Н. Александров

М. Ю. Беленький

А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук

В. В. Внутских

С. А. Жуков

В. Н. Захаров, академик РАН

Б. А. Картозия, доктор техн. наук

Е. Н. Курбацкий, доктор техн. наук

М. О. Лебедев, канд. техн. наук

И. В. Маковский, канд. техн. наук

В. Е. Меркин, доктор техн. наук

М. Х. Миралимов, доктор техн. наук

М. М. Рахимов, канд. техн. наук

А. Ю. Старков

Т. В. Шелитько, доктор техн. наук

Ш. К. Эфендиев

**Тоннельная ассоциация России**

тел.: (495) 608-8032, 608-8172

факс: (495) 607-3276

www.rus-tar.ru

e-mail: info@rus-tar.ru

**Предпечатная подготовка**

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71

127521, Москва,

ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,

оф. 4206

e-mail: metrotunnels@gmail.com

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов журнала только с письменного разрешения Тоннельной ассоциации России



Мосметрострой



№ 4 2023

**Горному университету СПб – 250**

**Метрострой Северной Столицы – к 250-летию университета**

Д. С. Васильев

4

**История становления, научные достижения и перспективы развития кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений Санкт-Петербургского горного университета**

А. Г. Протосеня, П. А. Деменков,

П. К. Тулин, М. А. Карасев

6

**Размыв, год 1974 – год 2023**

К. П. Безродный, М. О. Лебедев

10

**Оценка напряженно-деформированного состояния обделки подходного и дренажного тоннеля в составе сооружений Усть-Среднеканской ГЭС на реке Колыме**

В. Н. Кавказский, В. Заводников,

А. П. Лейкин, С. Даричев

15

**Развитие теории расчета подземных сооружений в России**

А. С. Саммаль, П. В. Деев,

С. В. Анциферов, М. О. Лебедев

18

**Освоение подземного пространства**

**Современные подходы организации доступной среды подземных общественных пространств**

А. В. Плукчи, О. Б. Ушакова

21

**Геотехника**

**Геотехнические аспекты обеспечения сохранности зданий исторической застройки при выполнении подземных и котлованных работ в центральной части Санкт-Петербурга**

Р. А. Мангушев, А. И. Осокин,

И. П. Дьяконов, Ф. Н. Калач

24

**Расчётное обоснование применения анкерных систем в комбинированном ограждении котлована**

Д. С. Конюхов, И. Н. Хохлов, С. А. Казаченко

28

**Железнодорожные тоннели**

**Керакский тоннель – заключительный этап строительно-монтажных работ на ключевом объекте инфраструктуры ОАО «РЖД»**

А. А. Перегудов, С. С. Батиенко,

Д. Ю. Лаппи, А. Р. Попонин

30

**Щитовая проходка**

**Механизированный щит с телескопическим корпусом для непрерывной проходки тоннелей**

Л. В. Маковский, В. В. Кравченко

34

**В Тоннельной ассоциации России**

**Международная научно-техническая конференция «Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели 2023»**

Д. С. Конюхов

38

# СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Санкт-Петербургский  
горный университет

*Профессорско-преподавательскому коллективу  
Санкт-Петербургского горного университета,  
студентам и выпускникам университета*

Учреждение Екатериной II в 1773 г. в Санкт-Петербурге Горного университета стало знаковым событием в жизни России и отправной точкой для углубления научных исследований, направленных на познание законов природы, и формирования системы технического образования, обеспечивающей подготовку научных и инженерных кадров для развивающейся промышленности государства.

С удовлетворением отмечаем, что вся 250-летняя история университета – это напряжённый и непрерывный путь научных открытий и поиска новых направлений развития горного дела в России, путь разработки эффективных методик подготовки инженеров и научных работников, способных решать самые сложные задачи, связанные с промышленной разработкой месторождений полезных ископаемых, которыми богата наша страна, и строительством подземных сооружений любого уровня сложности.

На протяжении двух с половиной веков Санкт-Петербургский горный университет доказывает свою уникальность и высокий уровень инженерного образования, предоставляемого студентам. Определяющими факторами в этом являются талант и профессиональные качества преподавательского и научного коллектива университета, который всегда отличали умение быстро приспосабливаться к изменяющимся потребностям современного мира, стремление к инновациям, смелость в поиске новых путей развития. Именно поэтому многие из выпускников университета прославились своими научными достижениями и весомым вкладом в различные области знания, связанные с горным делом и подземным строительством. Их имена и дела с честью вписаны в историю России.

С чувством глубокой признательности Тоннельная ассоциация России отмечает, что Санкт-Петербургский горный университет стоял у истоков создания нашей ассоциации и во многом способствовал её становлению, в качестве авторитетного общественного центра эффективного продвижения достижений научно-технического прогресса в практику подземного строительства. Ваш университет и многие его выпускники являются членами Тоннельной ассоциации России и активно участвуют в проектировании, строительстве, научно-техническом сопровождении строительства транспортных тоннелей и подземных сооружений, формировании современной нормативно-технической базы подземного строительства.

Мы гордимся тем, что учебное заведение такого уровня находится в наших рядах и верим, что будущее университета будет таким же успешным и блестящим, как и его славная история!

В этот особый юбилейный год мы хотим выразить всем вам самые искренние поздравления со столь знаменательной датой. Ваше учебное заведение является уникальным и вносит неоценимый вклад в экономическое развитие нашей страны, развитие научных знаний о земле, разработку новых инженерных решений применительно к строительству подземных сооружений, формирование системы инженерного образования.

От всего сердца желаем университету дальнейших успехов в подготовке профессиональных инженерных кадров, способных с честью и на высоком уровне решать самые сложные задачи по развитию экономического потенциала нашей страны.

*Председатель правления  
Тоннельной ассоциации России*

**К. Н. Матвеев**

*Руководитель Исполнительной дирекции  
Тоннельной ассоциации России*

**А. Б. Лебедьков**

*Ректору Санкт-Петербургского горного университета  
В. С. Литвиненко*

Уважаемый Владимир Стефанович!

От лица Комитета по развитию транспортной инфраструктуры и от себя лично поздравляю Вас, весь профессорско-преподавательский коллектив, аспирантов и студентов с 250-летием вашего университета!

Санкт-Петербургский горный университет – первое высшее техническое учебное заведение нашей страны. Вот уже два с половиной века в нем готовят ученых и инженеров, которые создают прорывные технологии, занимаются геологической разведкой, проводят значимые исследования и открытия. Многие выпускники вписали свои имена в историю России золотыми буквами. Сохраняя верность вековым традициям отечественного образования, университет активно развивается: внедряются новые технологии, современные формы работы, инновационные педагогические методики, укрепляется авторитет в отечественном и международном научном сообществе.

Вуз серьезно работает над подготовкой кадров для строительства объектов транспортной инфраструктуры, в частности, метрополитена. Этой отрасли в настоящее время уделяется особое внимание, она критически важна для развития Санкт-Петербурга. Уверен, что ваши специалисты с честью будут нести высокое звание выпускников Горного и реализуют много необходимых для города проектов.

Спасибо за ваш добросовестный и упорный труд, преданность избранному делу, нашему городу и великой стране. Искренне желаю профессорско-преподавательскому составу и студентам Санкт-Петербургского горного университета успехов, процветания и новых достижений!

*Врио председателя Комитета по развитию  
транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга*

*М. Г. Кузнецов*

*Ректору Санкт-Петербургского горного университета  
В. С. Литвиненко*

Уважаемый Владимир Стефанович!  
Дорогие коллеги, друзья!

От имени всех сотрудников АО «Мосметрострой» и от меня лично примите самые искренние поздравления по случаю 250-летия со дня образования Санкт-Петербургского горного университета!

Горный университет – первое высшее техническое учебное заведение в России, созданное в 1773 г. по указу Екатерины II. Горный университет реализует все уровни высшего профессионального образования с присвоением квалификации бакалавр, магистр, дипломированный специалист для крупнейших российских и зарубежных компаний, занимающихся прогнозом, поисками, разведкой, разработкой и переработкой важнейших видов полезных ископаемых.

Сегодня Горный – это славя богатейших традиций, передаваемых из поколения в поколение, и современных технологий. Университет включает различные факультеты, а его приборно-лабораторная база является одной из лучших в России, причем использовать ее ресурс могут не только ученые, но и студенты профильных факультетов. Знаменитый Горный музей входит в тройку лучших музеев мира естественно-научного профиля.

Диплом Горного – это знак качества, прекрасная путевка в жизнь. Высокий потенциал выпускников, подтвержденный их трудом в различных отраслях экономики, наглядно демонстрирует, что университет вносит достойный вклад в развитие интеллектуального потенциала нашего общества, экономического благополучия страны.

Ваш труд отмечен многими наградами и поощрениями. На счету ученых Горного университета тысячи патентов, сотни медалей престижнейших международных выставок, десятки правительственных премий и наград. Это следствие научной деятельности, имеющей широкое практическое применение.

Высокий уровень профессорско-преподавательского состава, технической оснащенности, организации учебного процесса, профессиональное отношение к делу являются отличительными чертами вашего сплоченного коллектива.

Счастья вам, крепкого здоровья и новых успехов в службе на благо нашей любимой страны!

*Генеральный директор АО «Мосметрострой»*

*С. А. Жуков*

# МЕТРОСТРОЙ СЕВЕРНОЙ СТОЛИЦЫ – К 250-ЛЕТИЮ УНИВЕРСИТЕТА

Д. С. Васильев, АО «Метрострой Северной Столицы»



Горный университет был и остается одним из ведущих вузов страны в области подготовки профильных инженерных кадров – многие сотрудники АО «Метрострой Северной Столицы» начинали осваивать свою профессию именно в его стенах. Система образования Горного совмещает в себе бережное отношение к лучшим традициям отрасли и опыту предшественников с передовым подходом и инновационными технологиями, без которых сегодня не обходится ни одно предприятие, связанное с прогнозом, поисками, разведкой, разработкой и переработкой полезных ископаемых и подземными инженерными работами. Не стало исключением и АО «Метрострой Северной Столицы». Петербургских метростроителей и Санкт-Петербургский горный университет связывает большая совместная история.

Метрострой Северной Столицы подготовил к 250-летию университета интересный материал: впечатления студентов о практике в компании, неочевидные факты о станции «Горный институт» и масштабы строительства.

## Горный – рядом: на практике

В возведении метро задействованы специалисты, которых можно встретить и в других смежных отраслях: горнорабочие, маркшейдеры, инженеры, сметчики и др. Однако, когда в реальности они сталкиваются именно с подземным строительством, понимают, что сооружение Санкт-Петербургского метро – отдельная, ни на что не похожая отрасль. Много решает опыт, и то, как он передается из поколения в поколение. Летом метростроители традиционно делятся знаниями со студентами, которые приходят на практику в компанию. Институт наставничества – важный инструмент постро-

ения отношений с будущими специалистами. Впечатлениями о нескольких месяцах работы в АО «Метрострой Северной Столицы» поделились студенты Санкт-Петербургского горного университета.

Александр Вертелецкий, студент Санкт-Петербургского горного университета, проходил практику в Метрострое Северной Столицы летом 2022 г. Вот, что он рассказал:

«Работники Метростроя Северной Столицы очень дружелюбные – начиная с координатора практики, заканчивая коллективом станции и моим руководителем практики. Они всячески старались мне помочь быстрее привыкнуть к новой рабочей обстановке. У меня была дружная смена, мы все в хороших отношениях. Моего наставника Юсупову Римму Алексеевну все очень уважают на участке. Она – настоящий профессионал своего дела, может легко и понятно ответить на любой вопрос, будь то

технологический процесс, либо какая-то фаза строительства. Я видел, что она действительно заинтересована в наставничестве и в моем последующем успехе в завершении практических задач, поэтому работать вместе было очень приятно.

Люди моей профессии должны обладать несколькими навыками. Первое – это гибкость, потому что в шахте может произойти все, что угодно, и нужно подстраиваться под новые условия работы. Далее – коммуникабельность, ведь работа в шахте завязана на взаимодействии между работниками, понимании того, что от тебя требует тот или иной специалист. Также важно быть аккуратным и усидчивым, часто имеешь дело с чертежами, где нужно вникнуть, что, где и как изображено и не совершить ошибку уже при работе на участке. Это была моя первая практика, и я думаю, что у меня получилось развить в себе эти навыки. За время практи-

*Санкт-Петербургскому горному университету*

От лица АО «Метрострой Северной Столицы» поздравляю руководство, профессоров, преподавателей, сотрудников и студентов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» с 250-летием с даты основания вуза! Со дня подписания Указа о создании университета в 1773 г. Горный выпустил тысячи высококлассных специалистов, настоящих мастеров своего дела. Став первым высшим техническим учебным заведением России, Санкт-Петербургский горный университет и сейчас по праву входит в список самых востребованных университетов не только города на Неве, но и всей страны.

Горный университет был и остается одним из флагманов в области подготовки профильных инженерных кадров – многие метростроители начинали изучение своей сложной профессии именно в его стенах. Студенты ежегодно проходят производственную практику на объектах АО «Метрострой Северной Столицы», и мы с гордостью наблюдаем за становлением и развитием нового поколения метростроителей. Диплом Горного – это не только свидетельство высочайшего уровня образования, но и значительного профессионального потенциала молодого специалиста.

Желаю коллективу Санкт-Петербургского горного университета новых достижений, масштабных планов и интересных задач, успехов и благополучия!

*Генеральный директор АО «Метрострой Северной Столицы»*

*Д. С. Васильев*

ки я начал понимать все, что требуется от маркшейдера и, конечно же, подстраиваться под условия работы и требования».

О первой производственной практике рассказала и Екатерина Васянкина, студентка Санкт-Петербургского горного университета, которая также стажировалась на одном из строительных объектов АО «Метрострой Северной Столицы»:

«Самые яркие эмоции были получены при первом спуске в шахту будущего метро. Первый спуск я себе представляла в мрачных, серых красках, но все оказалось совершенно не так, как думала. Внизу появляется ощущение, что ты попадаешь в совершенно иной подземный и даже немного сказочный мир. В шахте все горнорабочие имеют какую-то свою, особую связь. Я сразу заметила, что люди здесь очень дружелюбные, приветливые, все друг друга знают и относятся к друг другу с уважением и теплотой. Это очень меня зацепило. В шахте совершенно другая атмосфера. Здесь кипит своя жизнь. Любой предмет, который попадает на глаза, – важный элемент работы. В любом знаке и отметке есть какой-то понятный только горнякам смысл.

Благодаря практике я смогла почувствовать себя более уверенно в моей будущей профессии. В шахте ты уже находишься в реальных условиях работы. Там тебе необходимо применить все накопленные во время обучения знания и навыки. Моя специализация весьма обширная, так что получилось попробовать себя в разных видах работ. Это многообразие задач дает возможность «набить руку» и накопить дополнительный опыт. Больше всего меня мотивировало ходить на практику в хорошем настроении и усердно трудиться – это то, что я смогла внести какой-то (пусть даже небольшой) вклад в историю. Любое твоё действие, любая твоя помощь привносит что-то хорошее и полезное в строительство метро и будущее всего города. И тогда ты по-

нимаешь, что твоё присутствие здесь важно, и что ты важен».

В 2023 г. практику на площадках АО «Метрострой Северной Столицы» прошли 57 студентов Санкт-Петербургского горного университета. Из них 12 студентов стажировались именно на строительстве станции «Горный институт».

### Станция с «Горным» характером

«Горный институт» – пилонная трехсводчатая станция глубокого заложения. Такое конструктивное решение проверено временем и считается одним из самых надежных. Пилонные станции возводились еще при постройке первой очереди метро Северной столицы, Кировско-Выборгской линии. Именно с нее началась история Ленинградского метрополитена в 1955 г. Ключевая визуальная особенность таких станций – у центрального и боковых залов разные отделка и оформление. К слову, в оформлении будущей станции Лахтинско-Правобережной линии используют цвета, близкие к внешнему виду здания Горного института.

Повлияла близость учебного заведения и на название будущей станции – 24 декабря 2013 г. Топонимическая комиссия Санкт-Петербурга одобрила изменение проектного названия станции «Большой проспект» на «Горный институт», руководствуясь близостью будущей станции к одноименному вузу. Станция Лахтинско-Правобережной линии откроет двери своего подземного вестибюля на пересечении Большого проспекта В. О. и Косой линии.

Вход и выход расположатся примерно в 700 м от высшего учебного заведения, что сделает Горный институт еще доступнее в плане транспортной инфраструктуры. Сейчас добраться до университета студенты могут только от станций «Василеостровская» и «Спортивная».

### Для сравнения

Оценим масштаб строительства станции «Горный институт». Для сравнения

приведём наглядные примеры и полезные цифры.

«Горный институт» станет одной из самых глубоких станций Петербургского метрополитена. Глубина заложения будущей станции Лахтинско-Правобережной линии составляет 70 м. Для сравнения: примерно столько придется преодолеть, чтобы спуститься с высоты 24-этажного дома.

«Горный институт» будет третьей станцией метрополитена на Васильевском острове и первой станцией метрополитена четвертой линии в Василеостровском районе. Максимальный суточный пассажиропоток – 97 тыс. человек.

Объем разработанного грунта на месте вестибюля будущей станции «Горный институт» составляет 12463 м<sup>3</sup>. Чтобы перевезти такое количество породы, нужно задействовать не менее 700 самосвалов объемом 20 м<sup>3</sup>.

### Дело техники

Глубина котлована для строительства подземного вестибюля станции «Горный институт» – более 20 м, а готовый зал расположится на 12 м под землей. Диаметр наклонного хода для установки четырех эскалаторов составляет 10,6 м; его прокладывал тоннелепроходческий комплекс «Аврора».

С вводом новых станций («Горный институт» и «Театральная») длина Лахтинско-Правобережной линии метрополитена увеличится примерно на 3,5 км. Таким образом, общая длина эксплуатационного пути четвертой линии от станции «Дыбенко» до станции «Горный институт» будет равна 14,84 км.

Перегонные тоннели Лахтинско-Правобережной линии запроектированы в обделке 5,6 м, диаметр среднего станционного тоннеля составляет 9,8 м, а боковых – 8,5 м.

Станция «Горный институт» запроектирована с длиной посадочной платформы 162 м, рассчитанной на состав из восьми вагонов.



# ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ, НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КАФЕДРЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

А. Г. Протосеня, д. т. н., П. А. Деменков, д. т. н., П. К. Тулин, к. т. н., М. А. Карасев, д. т. н., Санкт-Петербургский горный университет

Статья посвящена истории становления, научным достижениям и перспективам развития кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений Санкт-Петербургского горного университета и приурочена к его юбилею. Отражены основные этапы работы кафедры. Раскрыты основные достижения в научной деятельности кафедры и образованных на ее базе научных школ. Представлена информация о современном состоянии кафедры, ее научной и образовательной деятельности, взаимодействии с научными и производственными организациями.



Бокий Борис Вячеславович, основатель кафедры строительства горных предприятий

После завершения Великой Отечественной войны восстановление народного хозяйства и его дальнейшее развитие требовало строительства новых и восстановления разрушенных горнодобывающих предприятий. Последнее являлось столь сложной задачей, что 10 сентября 1947 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР была учреждена медаль «За восстановление угольных шахт Донбасса». Стала очевидна необходимость подготовки инженерных кадров для шахтного и подземного строительства. В 1947 г. в Ленинградском горном институте, по инициативе профессора Бориса Вячеславовича Бокия, была открыта кафедра строительства горных предприятий, которая явилась основой для образования в 1948 г. Шахтостроительного факультета, начавшего

подготовку горных инженеров-строителей, первый выпуск которых состоялся в 1950 г. Профессор Борис Вячеславович Бокий, который стал первым заведующим вновь образованной кафедры и первым деканом Шахтостроительного факультета, внес заметный вклад в горную и геологическую науку. В последующие годы кафедру возглавляли ведущие ученые в области шахтного и подземного строительства, такие как В. Н. Семевский, Н. С. Булычев, В. В. Смирняков. В настоящее время кафедрой руководит лауреат премии правительства РФ, заслуженный деятель науки, доктор технических наук, профессор А. Г. Протосеня. За 70 лет на кафедре было подготовлено свыше 3500 горных инженеров-строителей, работающих во всех уголках России и за ее пределами.

Выпускники специальности «Строительство подземных сооружений и шахт» (так специальность называлась до 1983 г.) принимали активное участие не только в проектировании и строительстве горных предприятий, но и подземных сооружений, в частности, объектов Ленинградского метрополитена. Поэтому в начале 90-х годов кафедра была переименована в кафедру строительства горных предприятий и подземных сооружений, а в 1995 г. был организован факультет Освоения подземного пространства путем объединения Шахтостроительного и Маркшейдерского факультетов. Вновь созданный факультет осуществлял подготовку горных инженеров по специальностям «Шахтное и подземное строительство» и «Маркшейдерское дело», инженеров по специальности «Прикладная геодезия», а с 1996 г. и подготовку инженеров по специальности «Городской кадастр». Деканами были профессора В. Л. Трушко, Л. К. Горшков, А. Г. Протосеня. В 2012 г. факультет Освоения подземного пространства был переименован в Строительный факультет и на нем были открыты: специальность «Строительство уникальных зданий и сооружений» со специализацией «Строительство подземных со-

оружений» и направления подготовки бакалавров «Строительство» с профилем «Промышленное и гражданское строительство» и «Архитектура» с профилем «Архитектура». Их подготовка так же проходила на кафедре строительства горных предприятий и подземных сооружений. В настоящее время в Санкт-Петербургском горном университете организованы специализированные кафедры для подготовки специалистов по направлениям «Архитектура» и «Промышленное и гражданское строительство», а кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений вновь занимается подготовкой только инженеров, непосредственно вовлеченных в подземное строительство.

На кафедре строительства горных предприятий и подземных сооружений (СПТ и ПС) активно ведутся научно-исследовательские работы по различным проблемам шахтного и подземного строительства. Основными направлениями научной работы кафедры являются экспериментальное и теоретическое развитие геомеханики и механики подземных сооружений, разработка способов и средств обеспечения устойчивости выработок и подземных сооружений, конструкций их крепей и обделок, создание прогрессивных технологий строительства горных выработок и подземных сооружений. В рамках работы кафедры были сформированы научные школы, которые эффективно решали и продолжают решать проблемы геомеханики при освоении подземного пространства. Среди них можно выделить научные школы по анкерному креплению, механике подземных сооружений, исследованию прочности и разрушения горных пород при высоких давлениях, научную школу по геомеханике и геотехнологии. Среди наиболее известных ученых можно выделить Б. В. Бокия, А. Г. Протосеню, А. Н. Ставрогина, Ю. Н. Огородникова, О. В. Тимофеева, В. Л. Трушко, В. В. Смирнякова, Г. Г. Мирзаева, которые в рамках своих исследований внесли существенный вклад в развитие теоретических поло-

жений геомеханики, а результаты их труда нашли широкое применение при решении производственных задач.

Научная школа «Механика подземных сооружений» была сформирована под руководством профессора Н. С. Булычева. Школа зародилась на стыке механики горных пород и механики деформируемого твердого тела (теории упругости, строительной механики) в результате значительных достижений в этих отраслях знаний. К числу важнейших научных достижений, полученных в рамках работы этой школы, можно отнести:

- изучение гравитационных и тектонических полей напряжений в массивах горных пород;
- изучение физических состояний и механических свойств горных пород в массиве;
- исследования реологических процессов в массивах пород при образовании в них горных выработок, в том числе процессов деформирования пород за пределом прочности;

- создание механических моделей горных пород и массивов.

В рамках работы школы значительное внимание уделялось развитию теоретических положений механики твердого деформируемого тела применительно к подземному строительству. Существенное развитие получили точные и приближенные аналитические методы решения широкого класса задач о напряженно-деформированном состоянии односвязных и многосвязных, однородных и кусочно-однородных областей, которые постепенно начали находить применение для качественного описания процессов, происходящих в массивах горных пород, а впоследствии дали возможность специально ставить и решать прикладные задачи, выдвигаемые практикой подземного строительства. Именно интенсификация и существенное усложнение условий подземного строительства, увеличение глубин, строительство уникальных комплексов энергетических, транспортных, гидротехнических и других подземных сооружений, в том числе в районах вечной мерзлоты, тектонически и сейсмически активных районах и послужили толчком к развитию механики подземных сооружений. Органичное соединение новых сложных задач, диктуемых практикой, углубленных знаний о состояниях и свойствах массивов пород и применение методов механики сплошной среды для расчета и проектирования подземных конструкций и составило основу новой научной дисциплины «Механика подземных сооружений». Данное научное направление активно развивается в рамках работы кафедры и по сей день.

Отдельное внимание необходимо уделить научной школе «Исследование прочности и разрушения горных пород при высоких давлениях», которая была создана заслуженным деятелем науки и техники РФ, проф. А. Н. Ставрогиним. Школа сформировалась на основе научных исследований, проведенных в лаборатории физики горных пород и высоких давлений в течение 40 лет. До 1989 г. лаборатория



**Сотрудники кафедры СГП и ПС в 2002–2003 гг.**

входила в состав Всесоюзного института горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ). С 1990 г. она входит в состав кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений Ленинградского горного института, ныне Санкт-Петербургского государственного горного университета. Школа участвовала в решении таких экстремальных проблем в горной промышленности России и на территории бывшего СССР, как горные удары, внезапные выбросы угля, породы и газа, устойчивость горных выработок на больших глубинах, устойчивость глубоких и сверхглубоких скважин, а также проблем, связанных со строительством промышленных подземных сооружений различного назначения. Направлением фундаментальных исследований школы является изучение состояния горных пород в широком диапазоне условий. Деформированное состояние пород исследовалось как в

области до предела прочности, так и за ее пределами вплоть до остаточной прочности. Для проведения комплексных исследований в таком широком диапазоне условий в лаборатории был создан парк уникального исследовательского оборудования.

Научным руководителем школы «Геомеханика и геотехнологии» является профессор А. Г. Протосеня. Направления исследований школы связаны с фундаментальными проблемами деформирования и разрушения геоматериалов. В рамках работы научной школы:

- выполнено теоретическое обобщение предельного состояния и пластического деформирования таких сред;
- исследовано пластическое состояние горных пород и предложены уравнения, описывающие их дилатансию;
- получены решения двумерных упруго-пластических задач о размерах зоны предель-

**Сотрудники кафедры СГП и ПС на производственной стажировке**







Состав кафедры СПП и ПС в 2023 г.

ного состояния вокруг горных выработок при экспоненциальном условии пластичности, а также изучено предельное состояние;

- рассмотрена неоднородная упругопластическая модель массива горных пород, разработан метод расчета перемещения пород вокруг горных выработок при наличии разрыхления и пластической дилатансии;

- изучено упругопластическое распределение напряжений вокруг выработки с учетом анизотропии прочностных свойств горных пород;

- предложены условия прочности анизотропных горных пород;

- выполнены исследования уравнения плоской деформации пластически анизотропных горных пород;

- выявлено влияние анизотропии прочностных свойств горных пород на область пластических деформаций вокруг выработки круглого поперечного сечения и многое другое.

Приведенные выше научные результаты, полученные А. Г. Протосенев, получили развитие в работах его учеников.

В настоящее время кафедра СПП и ПС осуществляет подготовку специалистов в области шахтного и подземного строительства и строительства подземных сооружений. Ежегодно кафедра выпускает до 50 горных инженеров-строителей и инженеров-строителей. Осуществляется подготовка молодых ученых по специальности «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика». На кафедре работают три доктора технических наук и одиннадцать кандидатов технических наук. Ученые кафедры активно вовлечены в решение вопросов совершенствования методов прогноза напряженно-деформированного состояния системы «подземное сооружение – породный массив» как при освоении подземного пространства городов, так и при решении других задач геомеханики. Среди новых научных направлений можно выделить исследование механизма деформирования и разрушения различных геоматериалов на макроструктурном

уровне, включая и совершенствование методов моделирования таких процессов. Такой подход обладает существенным преимуществом по отношению к традиционному и позволяет не только формировать более полное представление о механизмах, определяющих поведение таких материалов, но и разрабатывать методические подходы для их использования при выполнении оценки устойчивости породных обнажений и прочностных расчетов конструкций подземных сооружений. Значительное внимание учеными кафедры уделяется вопросам проработки планировочных решений, технологий строительства и геомеханического обеспечения при строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки. Такие исследования проводятся с привлечением студентов и аспирантов кафедры СПП и ПС, а их апробация осуществляется в рамках научных конференций. Кафедра активно взаимодействует с научно-исследовательскими, проектными, строительными и эксплуатирующими организациями. Новым научным направлением работы кафедры является применение нейронных сетей и методов машинного обучения для решения задач геомеханики и механики подземных сооружений. Продолжаются работы и по совершенствованию научных подходов к разработке новых конструкций крепей и методов их расчета. Основные результаты научных исследований учеными кафедры опубликованы в монографиях и научных журналах.

Кафедрой СПП и ПС установлены горизонтальные связи с родственными кафедрами, занимающимися подготовкой специалистов по шахтному и подземному строительству и тоннелестроению. Среди них, в первую очередь, необходимо назвать кафедры строительства подземных сооружений и горных предприятий Горного института НИТУ МИСИС; шахтного строительства Уральского государственного горного университета; геотехнологии и строительства

подземных сооружений Тульского государственного университета; физических процессов и строительной геотехнологии освоения недр Кузбасского государственного технического университета; тоннелей и метрополитенов Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I и многих других.

За 75 лет кафедрой подготовлено более четырех тысяч горных инженеров-строителей. Выпускники кафедры работают на всех континентах, во многих странах дальнего и ближнего зарубежья, в различных сферах горной промышленности, подземного и наземного строительства, промышленного производства, образования и науки. Многие являлись и являются директорами и заместителями директоров научно-исследовательских и проектных институтов, заведующими кафедрами и профессорами ведущих вузов страны.

Выпускники кафедры работают на предприятиях горнорудной, угольной и горно-химической промышленности, предприятиях гидротехнического комплекса и в тоннелестроении. Значительное число выпускников работает в организациях, занимающихся подземным строительством в Санкт-Петербурге (АО «Метрострой Северной Столицы», ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», ГУП «Ленгипроинжпроект», АО «Ленгидропроект» и др.), в организациях, занимающихся эксплуатацией подземных сооружений (ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ГУП «Петербургский метрополитен» и др.), а также в многочисленных проектных, строительных и научных организациях, работающих в горной отрасли.

В университете проводятся регулярные встречи выпускников различных лет с преподавателями кафедры. Наши выпускники всегда помнят альма-матер. На встречах они с теплотой вспоминают, по их словам, эти счастливые годы. Неизменным остается лишь одно – глубокая благодарность преподавателям кафедры за их человечность и высокий профессионализм.



От имени всего коллектива ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» поздравляю руководство, профессорско-преподавательский состав, студентов, аспирантов, докторантов и остальных сотрудников Санкт-Петербургского горного университета с 250-летним юбилеем!

История Горного университета – это история значимых научных открытий и постоянных инноваций. С момента своего основания императрицей Екатериной II в 1773 г. и до наших дней, вы успешно сочетаете передовые технологии с богатыми традициями. Каждый этап вашей долгой истории был отмечен достижениями, исследованиями и открытиями, а вклад в науку и образование невероятно важен для нашей страны и служит источником знаний для будущих поколений инженеров и ученых.

Сегодня Горный университет является важным центром формирования высококвалифицированных кадров для подземного строительства, способных успешно воплощать самые сложные проекты на практике.

Институт «Ленметрогипротранс» высоко ценит совместную многолетнюю историю сотрудничества, многие сотрудники института могут по праву называть Горный университет своей альма-матер. Выпускники университета, работающие в Ленметрогипротрансе, принимали участие в проектировании сложнейших объектов подземной транспортной инфраструктуры по всей России и за рубежом, внесли значительный вклад в строительство метрополитенов Санкт-Петербурга и Москвы, тоннелей Байкало-Амурской магистрали и других значимых объектов. Надеемся, что наше партнерство будет продолжаться и дальше, принося плоды в виде высококвалифицированных кадров, современных научных исследований и реализации новых проектов.

Поздравляем вас еще раз с юбилеем! Желаем Горному университету новых вершин, вдохновения и успехов!

*Генеральный директор ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»*

*В. А. Маслак*

---

В этом году Санкт-Петербургский горный университет, получивший почетное наименование императрицы Екатерины II, отмечает свой 250-летний юбилей. За все эти годы Горный университет прошел через множество вызовов и трудностей, но благодаря сплоченному коллективу и выдающимся руководителям, возглавлявшим вуз, были достигнуты значительные успехи в образовательной, научно-исследовательской и культурной деятельности во благо нашей страны.

В этот юбилейный год, от лица всех сотрудников Горного института Университета МИСИС, поздравляем руководство Санкт-Петербургского горного университета, профессорско-преподавательский состав, аспирантов и студентов. Желаем всем процветания и дальнейшего развития в области горного дела, а также достижения новых высот при решении важных стратегических задач в области подготовки специалистов высшей квалификации. Оставайтесь всегда верными своим принципам и целям, двигайтесь только вперед и достигайте новых высот в научно-исследовательской деятельности. Мы будем рядом!

*Коллектив Горного института Университета МИСИС*

---

Поздравляем первое высшее техническое учебное заведение России с 250-летием!

В этот знаменательный день мы хотим выразить глубокое уважение и благодарность руководству Горного университета за верность традициям и инновационный подход к процессу обучения и подготовки кадров в области строительства горных предприятий и подземных сооружений, в том числе метрополитена.

Подземное строительство всегда было и остается флагманом строительной отрасли, где аккумулируются и совершенствуются самые современные технологии, разрабатываются и внедряются уникальные технические решения, оборудование, материалы.

Реализация задач по развитию городской подземной инфраструктуры возможна лишь в тесном взаимодействии представителей профессионального и научного сообществ, и в этом смысле роль Горного университета как кузницы квалифицированных инженерных кадров сложно переоценить.

Старейшему инженерному вузу страны, обеспечившему многим из нас успешный старт в профессии, желаем процветания, а его выпускникам – новых производственных достижений и научных открытий на благо России.

*Исполнительный директор  
Тоннельной ассоциации Северо-Запада*

*С. Н. Алтатов*

# РАЗМЫВ, ГОД 1974 – ГОД 2023

К. П. Безродный, М. О. Лебедев, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

История Размыва между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» Санкт-Петербургского метрополитена достойна войти в учебники с описанием реализованных технологий строительства, борьбы с аварийными ситуациями и особенностями эксплуатации тоннелей в плавунных грунтах. На примере строительства перегонных тоннелей между указанными станциями есть замечательная возможность сравнения двух технологий сооружения тоннелей в одинаковых инженерно-геологических и гидрогеологических условиях.

**Р**азмыв – это древняя палеодолина реки Невы, заполненная четвертичными отложениями с несколькими водоносными горизонтами. Грунты представлены суглинками, супесями, песками, галькой, валунами разной крупности. На момент строительства этого участка метро широко применялась стабилизация водонасыщенных, совершенно неустойчивых грунтов методом замораживания с помощью хладагента, подаваемого по предварительно пробуренным скважинам.

Ленинградским институтом «Ленметропроект» в 1968–1969 гг. было разработано три варианта трассы между станциями «Лесная» – «Площадь Мужества» (рис. 1) [1]:

- глубокое заложение с проходом через Размыв;
- мелкое заложение с проходом трассы на меньших глубинах;
- глубокое заложение с проходом тоннелей под Размывом, с использованием лифтовых подъемников или двухмаршевых эскалаторов на ст. «Площадь Мужества».

Первоначальный проект с проходом через Размыв был представлен двумя параллельными тоннелями, расположенными в одном уровне. Впоследствии для ускорения и удешевления строительства был принят вариант – тоннель над тоннелем с целью экономии при замораживании массива.

Нужно признать, что в советское время требования о безопасности существующих зданий и сооружений не были в должной мере отражены в нормативной документации. В настоящее время в РФ существуют федеральные законы и нормативная документация, вносящие серьезные требования к организации строительства, если в зону влияния попадают уже эксплуатируемые здания и сооружения. В таком случае применяются малоосадочные технологии строительства [2], с обязательными мероприятиями по безопасности строительства и влиянием на окружающую среду [3, 4]. Как показывает практика, отсутствие дополнительных мероприятий по обеспечению безопасности при строительстве и эксплуатации приводят к неоправданному риску возникновения аварийных ситуаций [5, 6].

Тоннели на участке Размыв сооружали с помощью эректоров, грунт разрабатывали

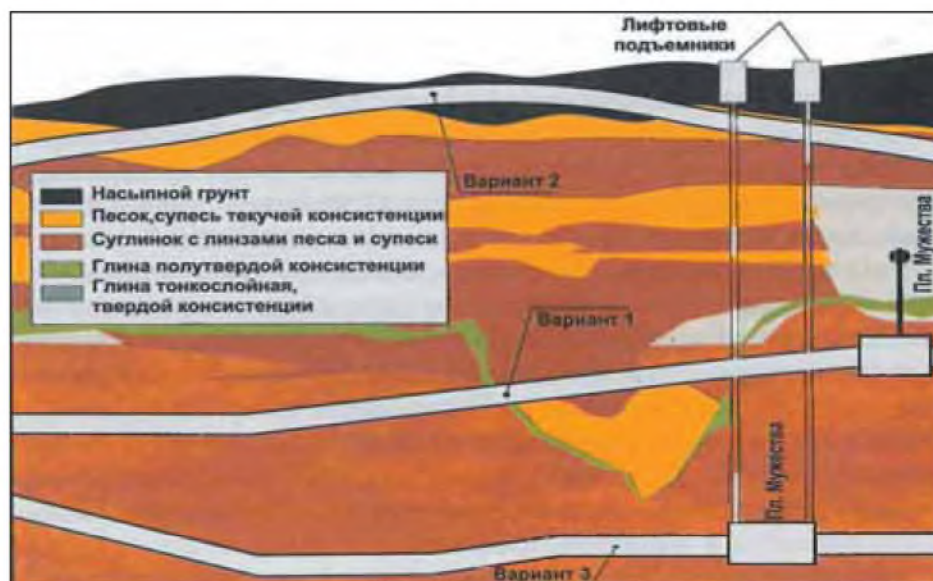
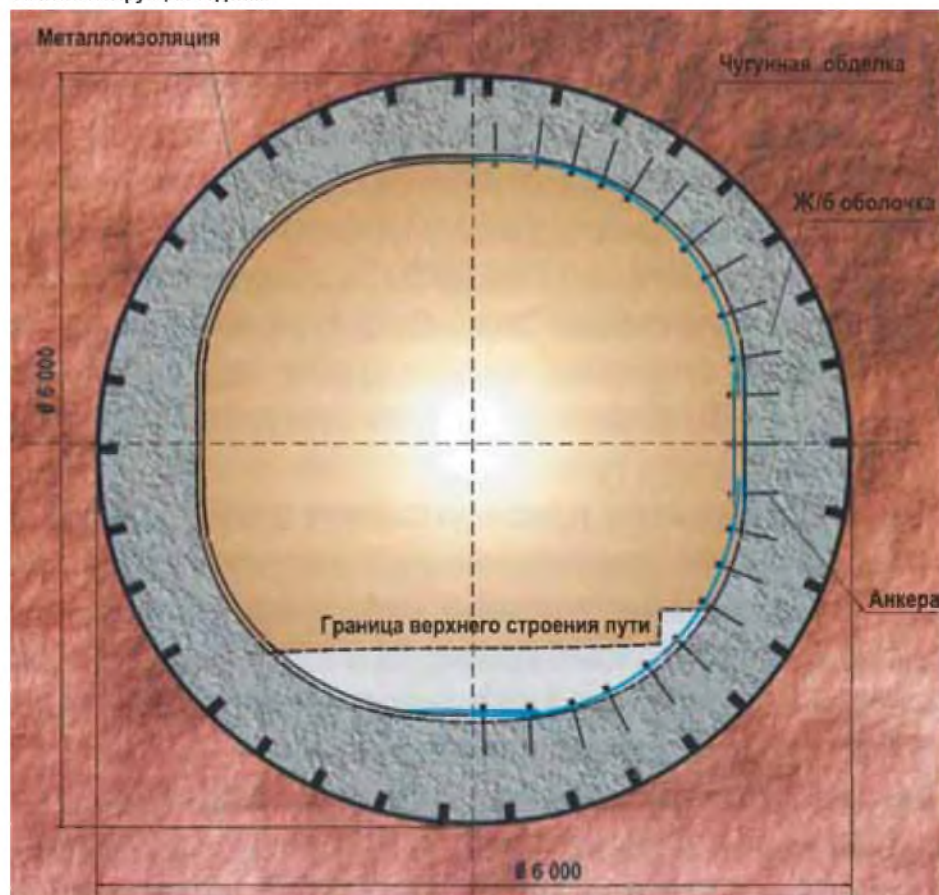


Рис. 1. Варианты строительства перегонных тоннелей в районе Размыва

Рис. 2. Конструкция обделки



отбойными молотками. Обделка состояла из трёх слоёв: первый – чугунные тубинги, второй – железобетонная рубашка и третий – металлоизоляция (рис. 2). В 1974 г. произошёл прорыв в тоннели водонасыщенных незамороженных грунтов [1]. Это привело к значительным сдвигениям в грунтовом массиве и разрушениям зданий на дневной поверхности.

Для предотвращения аварийной ситуации и возможности возобновления проходки эту зону локализовали с помощью замораживания жидким азотом. В 1975 г. тоннели были пройдены, и линия метрополитена была пущена в эксплуатацию. В процессе эксплуатации происходила разгерметизация чугунной обделки, и вода, проходя через железобетонную рубашку, стала появляться под металлоизоляцией с давлением равным практически гидростатическому. Этот процесс приводил к вспучиванию металлоизоляции и отрыве её от анкеров. В связи с тем, что дебет, поступающий через железобетонную рубашку, был невелик, приняли решение выпускать воду внутрь тоннеля, предотвращая деформацию металлоизоляции. Со временем это привело к тому, что вместе с водой стал поступать мелкодисперсный песок. Изменялся характер взаимодействия обделки с вмещающим массивом. Стали раскрываться стыки в чугунной обделке и образовываться трещины в железобетонной рубашке, через которые и поступал песок на контакт с металлоизоляцией. Все эти неприятности стали происходить после полного оттаивания грунтового массива.

К концу 1995 г. резко увеличилось поступление воды и грунта в тоннель, что привело к катастрофическим осадкам самих тоннелей и дневной поверхности (рис. 3 и 4). Было принято решение заполнить тоннели водопроводной водой. Перед этим закрыли герметичные затворы и возвели бетонные перемычки. Наибольшее раскрытие стыков в чугунной обделке и образование трещин в железобетонной рубашке происходило в лотковой части тоннелей.

Таким образом со стороны лотковой части тоннелей нарушилось равновесное состояние системы «обделка тоннеля – вмещающий массив».

За время аварии 1995 г. в тоннель № 1 было выпущено порядка 5700 м<sup>3</sup> грунта, на поверхности образовалась муфта оседания объемом 8000 м<sup>3</sup>, максимальные осадки достигали около 900 мм.

Была создана комиссия из ведущих специалистов по метро- и тоннелестроению для рассмотрения предложений по восстановлению движения поездов между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» (рис. 5). В неё входил и заведующий кафедрой строительства подземных горных предприятий Петербургского горного университета д. т. н., проф. А. Г. Прото-сеня. Комиссия рассмотрела массу пред-

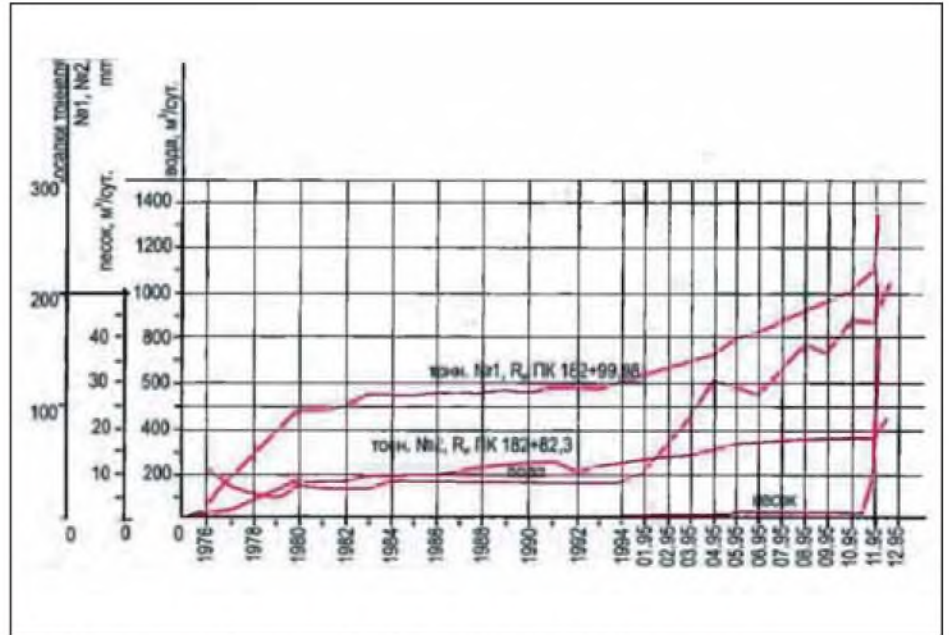


Рис. 3. Осадки тоннелей и суммарный дебет поступления воды и песка в тоннели

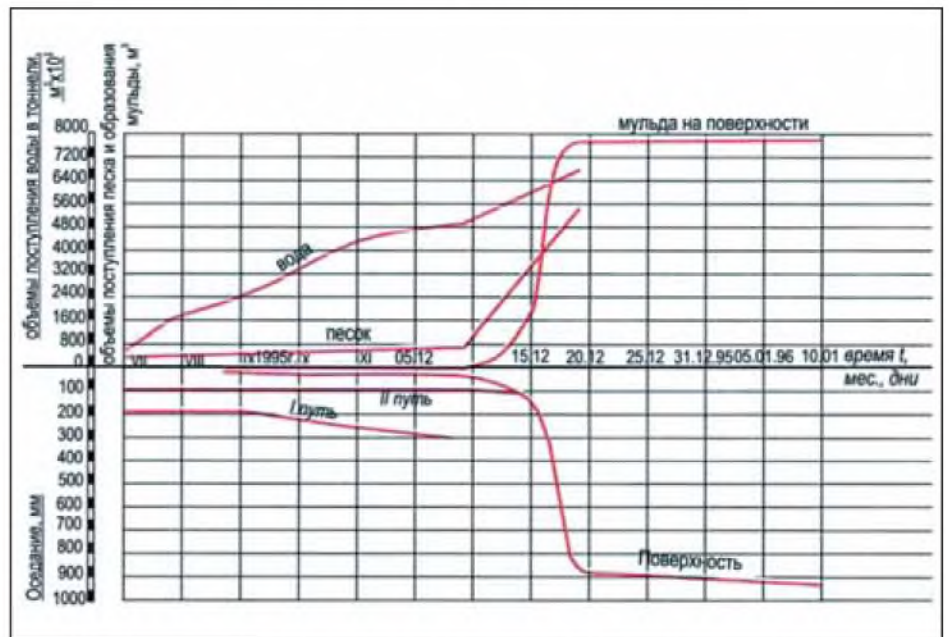


Рис. 4. Параметры муфты оседания и графики поступления воды и песка в тоннель № 1

Рис. 5. Работа комиссии по рассмотрению вариантов восстановления движения на участке Размыв



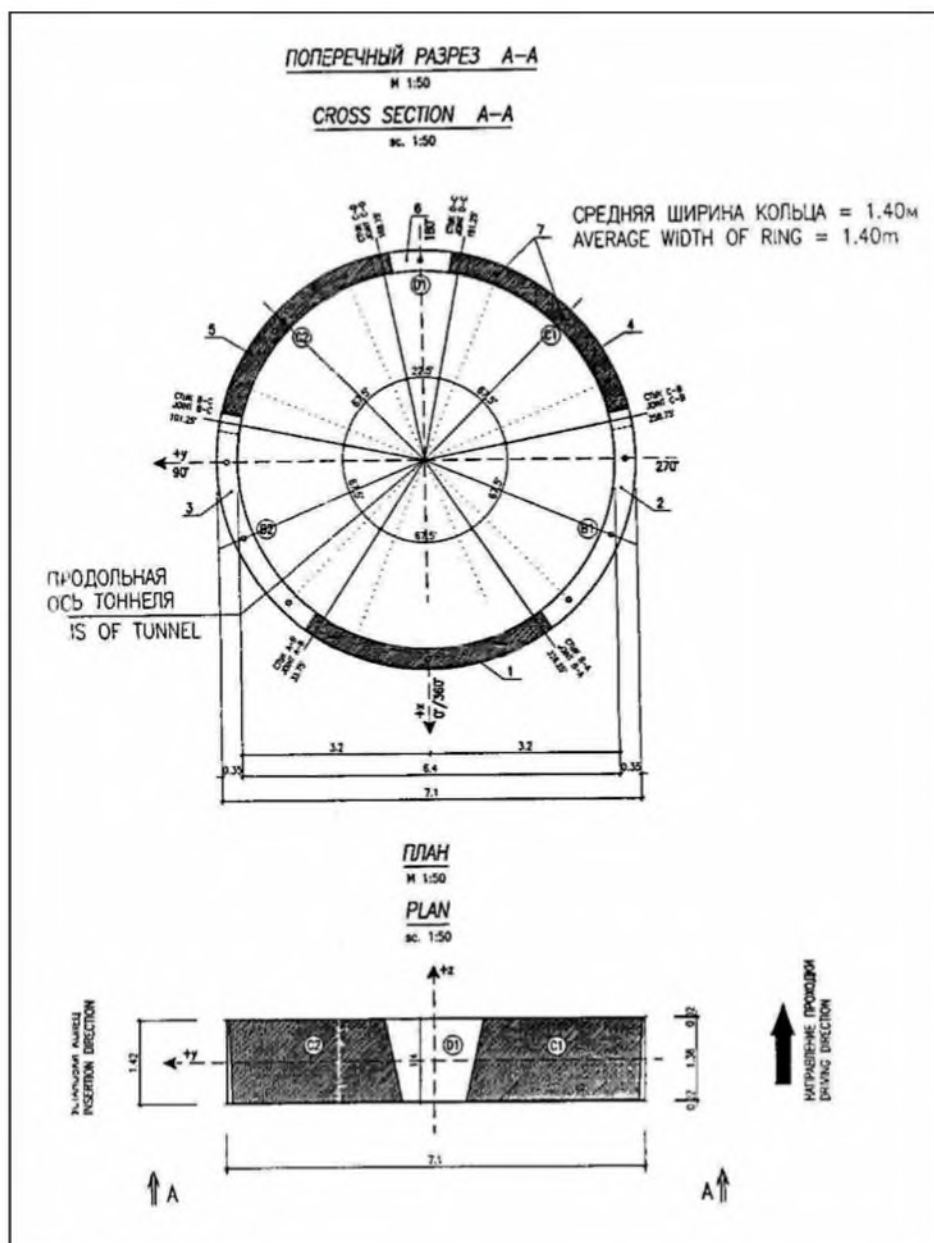


Рис. 6. Конструкция обделки

ложений [1], которые в основном предлагали восстановить затопленные тоннели, применяя подчас достаточно экзотические способы. Учитывая значительную нарушенность грунтового массива и обделки тоннелей, громадные технические сложности при реализации предлагаемых вариантов, комиссия рекомендовала строительство новых тоннелей.

Было предложено пройти тоннели с помощью тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК) с гидравлическим пригрузом забоя с обделкой из железобетонных водонепроницаемых блоков и гидроизоляционными стыками (рис. 6).

ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» и итальянская фирма «Геодата» разработали проект сооружения, горно-экологического мониторинга при строительстве и эксплуатации тоннелей (1). В 2004 г. тоннели были пройдены и восстановлено движение поездов между станциями «Лесная» и «Пло-

щадь Мужества», которое успешно продолжается по сегодняшний день.

Мониторинг, проводимый во время строительства и эксплуатации, показал следующее.

1. В районе затопленных тоннелей старой трассы:

- до 2015 г. продолжалось оседание дневной поверхности в эпицентре до 10 мм в год, связанное с поступлением в затопленные тоннели мелкодисперсного грунта;

- при бурении вертикальных скважин вблизи тоннелей и проведении геофизических исследований были обнаружены зоны разуплотнённых грунтов;

- из опасения смещений грунта вблизи новых тоннелей ОАО «Ленметрогипротранс» разработало проект заполнения тоннелей материалом, препятствующим попаданию грунта в тоннели, а также закрепления массива вокруг этих тоннелей.

2. Сооружение и эксплуатация тоннелей на новой трассе:

- в процессе сооружения тоннелей благодаря гидравлическому пригрузу в забое, мгновенной стабилизации грунтового контура нагнетанием тампонажного раствора за смонтированное кольцо, грунтовый массив практически сохранял природные напряжения без нарушения его сплошности. Осадки дневной поверхности при строительстве не превысили 20 мм;

- нормальные тангенциальные напряжения в обделке тоннеля сжимающие и малы по сравнению с пределом прочности железобетона блоков;

- динамическое воздействие поездов при движении их по тоннелям не вызывает виброразжижения грунта, вмещающего их;

- пространственное положение тоннелей не изменяется;

- поскольку при сооружении тоннелей и их последующей эксплуатации не происходит нарушение сплошности грунтового массива, обделку тоннелей следует рассчитывать методами механики сплошной среды.

Таким образом, способ сооружения тоннелей в четвертичных водонасыщенных, мелкодисперсных, совершенно неустойчивых грунтах с помощью ТПМК с гидравлическим пригрузом забоя показал себя более безопасным по сравнению с замораживанием (единственно приемлемым методом на момент строительства). Система «тоннель – вмещающий массив» на всех стадиях строительства и последующей эксплуатации находится в равновесном состоянии.

#### Список литературы

1. Размыв, история преодоления. Под общей редакцией Кулагина Н. И., Москва, ООО «ТА Инжиниринг», 2005, 119 С.
2. Маслак В. А., Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Захаров Г. Р., Ледяев А. П., Старков А. Ю. Малоосадочные технологии при строительстве метро в историческом центре Санкт-Петербурга. – *Метро и тоннели*, 2012 г., № 6, С. 26–30.
3. Лебедев М. О., Безродный К. П., Ларионов Р. И. Способы сохранения зданий, являющихся памятниками архитектуры, при строительстве метрополитена в Санкт-Петербурге. – *Инженер и промышленник* – № 1(31), 2(32), 2018 г.
4. Безродный К. П., Лебедев М. О. *Натурные исследования напряжённо-деформированного состояния системы «обделка – массив» в составе горно-экологического мониторинга.* – *Метро и тоннели* – № 6, 2011 г., С. 28–30.
5. Меркин В. Е., Петрова Е. Н. *Характерные тренды развития и цена аварий в современном тоннелестроении* – *Метро и тоннели*, 2022 г., № 4, С. 38–41.
6. Куликова Е. Ю., Конюхов Д. С. *Мониторинг риска аварий при освоении подземного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень.* – 2022. – № 1. – С. 97–103. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_1\_0\_97.



Уважаемый Владимир Стефанович!  
Дорогие коллеги!  
Уважаемые преподаватели, ветераны, сотрудники  
и студенты Санкт-Петербургского горного университета!

От имени коллектива ГУП «Петербургский метрополитен» примите сердечные поздравления с выдающейся датой – 250-летним юбилеем одного из ведущих учебных заведений нашей необъятной страны!

Этот праздник неразрывно связан с историей нашего города. 21 октября (1 ноября) 1773 г. в Петербурге по указу Софии Фредерики Августы Ангальт-Цербстской, будущей великой императрицы Екатерины II, было основано первое в России и второе в мире высшее техническое учебное заведение – Горное училище. Здесь стали готовить специалистов по добыче полезных ископаемых, по металлургии и для металлообрабатывающих производств. В январе 1804 г. училище было преобразовано в Горный кадетский корпус, и спустя всего несколько лет приобрело свой исторический дом – величественный архитектурный ансамбль, созданный по проекту А. Н. Воронихина, так хорошо знакомый сегодня петербуржцам и гостям нашего города. В 1833 г. Горный кадетский корпус стал именоваться Институтом корпуса горных инженеров, а в 1866 г. – Горным институтом.

История Горного института получила новый виток развития после Великой Октябрьской социалистической революции. В годы Великой Отечественной войны преподаватели и студенты ушли из аудиторий на фронт, героически сражались, приближая великую Победу. Не менее значимым стал вклад в дело разгрома гитлеровских войск тех, кто стойко переносил все тяготы и лишения блокадных лет. Преподаватели и студенты Горного института занимались разработкой боевых взрывчатых веществ, участвовали в строительстве оборонительных сооружений под Ленинградом и защите города от фашистов, приближали Победу во вражеском тылу в составе партизанских отрядов.

В послевоенные годы институт постоянно увеличивал выпуск специалистов по всем видам обучения, и к началу XXI века общий выпуск инженеров для флагманов российской и мировой добывающей и перерабатывающей индустрий превысил 40 тысяч человек.

За выдающиеся заслуги в области подготовки кадров для геологии, горного дела, металлургии и развитие науки институт был удостоен высших наград – Ордена Ленина в 1944 г., Ордена Трудового Красного Знамени в 1948 г., Ордена Октябрьской революции – в 1973 г.

Сменялись эпохи, изменялись названия, в начале нового тысячелетия вуз получил статус университета. С мая этого года Санкт-Петербургский государственный Горный университет с гордостью носит имя своей основательницы императрицы Екатерины II, сохраняет заложенные в прошлом вековые традиции, развивается и совершенствуется, во многом определяя векторы экономического развития России.

В стенах Горного университета были подготовлены сотни тысяч специалистов самого высокого уровня. Многим моим коллегам, представителям ГУП «Петербургский метрополитен», выпала честь называть себя выпускниками университета. Сегодня они успешно решают возложенные на них сложнейшие задачи.

Наше предприятие и университет связывают давние тесные партнерские отношения. Благодаря интеллектуальному труду лучших специалистов университета в метростроении успешно применяются самые современные технологии и наработки.

Сегодня университет располагает большим научным и производственным потенциалом, уникальным исследовательским и испытательным оборудованием. Научно-исследовательские подразделения и кафедры этого учебного заведения воплощают в реальность самые смелые планы и сложнейшие научно-технические задачи. Своим трудом, знаниями и энергией коллектив Горного университета вносит неоценимый вклад в успешное развитие отечественной минерально-сырьевой базы.

В память об этих выдающихся достижениях одна из новых станций Петербургского метрополитена будет носить славное историческое имя «Горный институт».

В этот торжественный день, уважаемый Владимир Стефанович, желаем Вам и всему педагогическому коллективу, студентам и выпускникам Горного университета крепкого здоровья, счастья, уверенного взгляда в будущее, новых замечательных открытий!

Спасибо Вам за активную, целенаправленную работу, за огромный вклад в развитие Петербургского метрополитена. Пусть все Ваши самые смелые и масштабные планы будут реализованы!

*Начальник ГУП «Петербургский метрополитен»*

*Е. Г. Козин*

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

От имени коллектива ФАУ «ВГСЧ в строительстве» и от себя лично сердечно поздравляю ваш дружный коллектив, в том числе и студентов, с 250-летним юбилеем образования Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II!

250 лет – зрелый возраст, за ним стоят успехи созидания, творческий поиск, осмысление пройденного пути и планирование дальнейшего развития. Вы по праву можете гордиться яркими страницами биографии университета, именами тех, кто стоял у истоков его создания, кто обеспечивает его авторитет и востребованность сегодня.

Вся история Санкт-Петербургского горного университета достойна носящего ныне звания – первого высшего технического учебного заведения Российской Федерации, теснейшим образом связана с развитием горнодобывающей промышленности России в целом. За годы деятельности вы превратились в основополагающее учебное заведение отрасли, в котором отрабатываются и развиваются эффективные методы и формы обучения, формируются новые направления научно-исследовательских работ. Огромен авторитет профессорско-преподавательского состава университета, обладающего мощным интеллектуальным потенциалом. Университет знают не только в нашей стране, но и за рубежом.

Ваши выпускники трудятся очень успешно и достигают замечательных результатов во всех сферах – экономике, науке, промышленности. На сегодняшний день в ФАУ «ВГСЧ в строительстве» работают сотрудники, в том числе и руководители подразделений, которые окончили в разные годы Санкт-Петербургский университет и с огромной теплотой относятся к своей альма-матер.

Мы надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество и желаем вашему вузу успешного развития и процветания, вдохновения в решении непростых задач на грани науки и практики.

Желаем также всем преподавателям, сотрудникам, студентам и аспирантам хранить, развивать и приумножать лучшие традиции университета, достигать новых высот в развитии отечественной науки и подготовке специалистов!

*Директор ФАУ «ВГСЧ в строительстве»*

*А. П. Срулевич*

Коллектив АО «Ленгидропроект» поздравляет старейший технический вуз России – Санкт-Петербургский горный университет с 250-летним юбилеем.

На протяжении своей долгой истории Горный славен тем, что в его стенах не только готовят отличных специалистов, но и воспитывают настоящих патриотов Отечества и своего дела. Академизм и следование традициям, устремленность в будущее и инновации позволяют Горному университету занимать достойное место в индустрии и возглавлять рейтинги лучших высших школ России и зарубежья.

АО «Ленгидропроект» с момента своего основания в апреле 1917 г. пополняло и совершенствовало инженерные кадры выпускниками Ленинградского горного института, а ныне Горного университета. Подобная практика исключительно взаимовыгодна и плодотворна. Известно, что весомую часть материалов для своих научных трудов и учебников В. Д. Ломтадзе подчеркнул из отчетов и трудов Ленгидропроекта, полученных при обосновании проектирования и строительства первых советских гидроэлектростанций, а сегодня десятки будущих выпускников проходят производственную практику.

В настоящее время комплексный отдел инженерных изысканий АО «Ленгидропроект» на 60 % укомплектован выпускниками Санкт-Петербургского горного университета. Также выпускники Горного работают в специализированных инженерных отделах и в руководстве Общества.

При непосредственном участии специалистов и учёных Горного университета реализованы знаковые объекты энергетики и транспорта: подземная Колымская ГЭС в условиях многолетнемерзлых грунтов, самый протяжённый в России Пимринский автодорожный тоннель, самая высоконапорная в России Зарамагская ГЭС-1 и многие другие.

Не остаются незамеченными успехи современного Горного университета – постоянное развитие и совершенствование материальной базы, участие в международных программах и форумах, достижения в научной деятельности и патентовании.

Желаем коллективу Горного института, его студентам и аспирантам энергии, бодрости, творческих порывов. Продолжайте пополнять копилку своих знаний и успешно применяйте их при создании и воплощении в жизнь новых масштабных и дерзких проектов, которые будут столь же успешно служить во благо нашей Родины, как и объекты, созданные многими поколениями наших предшественников.

*Коллектив АО «Ленгидропроект»*

---

Санкт-Петербургский горный университет – первое высшее техническое учебное заведение России основанное в 1773 г. по указу императрицы Екатерины II, которое сочетает традиции и инновации в области высшего технического образования.

Сформировавшиеся за 250 лет развития научные школы университета решают важные задачи по многим приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий, которые по праву получили широкую известность и мировое признание.

Вы по праву можете гордиться яркими страницами биографии вуза, именами тех, кто стоял у истоков его создания, кто обеспечивает его авторитет и востребованность сегодня, кто вносит значимый вклад в подготовку многих поколений квалифицированных специалистов для горно-металлургического комплекса и других отраслей отечественной экономики.

Среди выпускников вашего университета – известные государственные и общественные деятели, руководители крупных предприятий и ученые.

Несмотря на столь солидный возраст, университет молод, открыт для новых идей, достижений и новых горизонтов интеллектуального развития. Ваш вуз высоко держит планку одного из ведущих образовательных и научных центров страны. Практическая инновационная направленность университета, самые современные технологии, активно используемые в обучении, позволяют вам уверенно смотреть в будущее, вести многогранную исследовательскую деятельность, участвовать в перспективных проектах. И потому диплом Санкт-Петербургского горного университета является безусловным свидетельством глубоких, основательных знаний, надежной путевкой в жизнь для тысяч выпускников.

Желаем вам дальнейших успехов, новых достижений, стабильности, процветания, талантливых, целеустремленных и смелых студентов, которые будут беречь и приумножать вековые традиции родной альма-матер.

*Декан горнотехнологического факультета  
ФГБОУ ВО Уральского государственного горного университета,  
заведующий кафедрой шахтного строительства*

*М. Н. Волков*

# ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛКИ ПОДХОДНОГО И ДРЕНАЖНОГО ТОННЕЛЯ В СОСТАВЕ СООРУЖЕНИЙ УСТЬ-СРЕДНЕКАНСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ КОЛЫМЕ

В. Н. Кавказский, к. т. н., В. Заводников, А. П. Лейкин, к. т. н., С. Даричев, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I



Рис. 1. Общий вид Усть-Среднеканской ГЭС

В 2020 г. кафедра тоннели и метрополитены ПГУПС выполняла работы по обследованию подходного и дренажного тоннеля в составе сооружений Усть-Среднеканской ГЭС в Магаданской области на реке Колыме. В ходе обследования были выявлены причины и закономерности изменения напряжённо-деформированного состояния обделки тоннеля и вмещающего его грунтового массива. Данные результатов обследования, геодезического и гидростатического мониторинга легли в основу рекомендации по дальнейшей эксплуатации объекта.

В 2020 г. по договору с Ленгидропроект, кафедра тоннели и метрополитены совместно с испытательным центром «Прочность» ПГУПС выполняла работы по комплексному обследованию существующих подземных сооружений Усть-Среднеканской ГЭС.

Основное назначение Усть-Среднеканской ГЭС состоит в выработке электроэнергии, повышении гарантированной зимней энергоотдачи Колымской ГЭС с выдачей мощности в систему Магаданэнерго и в обеспечении условий судоходства в нижнем бьефе путем пусков из водохранилища.

Обследуемое подземное сооружение, в частности подходной и дренажный тоннель,



Рис. 2. Местоположение подходного-дренажного тоннеля

располагается на правом берегу реки Колымы и входит в систему сооружений Усть-Среднеканской ГЭС (рис. 2).

Климат района континентальный с умеренно теплым летом и продолжительной суровой зимой.



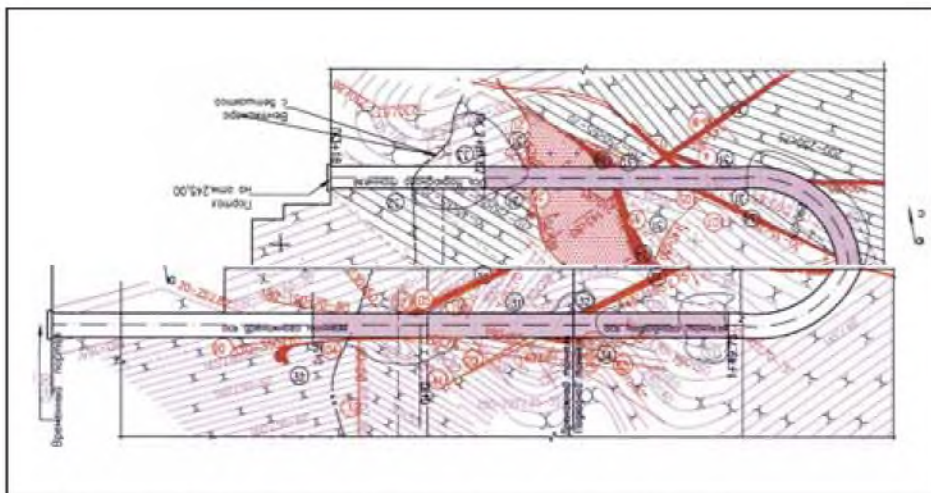


Рис. 3. Геологическая карта-срез по подошве подходного и дренажного тоннеля

Район строительства сооружений Усть-Среднеканской ГЭС характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, определяемыми структурно-тектонической и мерзлотно-гидрогеологической обстановкой, проявлением неблагоприятных физико-геологических процессов: криогенное выветривание, морозное пучение, термокарст, повышенная фоновая сейсмичность.

Инженерно-геологический срез по подошве подходного и дренажного тоннеля представлен на рис. 3.

Общая протяженность тоннеля составляет 321,3 м. По назначению тоннель состоит из двух частей: подходного тоннеля 206,4 м и дренажного протяженностью 114,9 м. В плане тоннель состоит из двух прямолинейных участков и радиусной кривой  $R = 23$  м.

Вход в подземное сооружение осуществляется через портал подходного тоннеля. Обделка обоих тоннелей выполнена из монолитного железобетона, имеет подковообразное очертание, площадь поперечного сечения (в свету) составляет 21,1 м<sup>2</sup>. Всего же имеется восемь типов обделок по длине тоннеля.

Для оценки технического состояния тоннельной обделки был выполнен комплекс исследований, включающий:

- визуальное и инструментальное обследование тоннельной обделки и заобделочного пространства;
- оценку влияния гидростатического давления в период изменения режимов работы ГЭС;
- анализ данных геодезических измерений за весь период начальной эксплуатации;
- математическое моделирование обделки тоннеля на статическое и сейсмическое воздействие.

По результатам визуального обследования тоннельной обделки установлено, что наибольшее количество трещин в обделке выявлено вблизи тектонических трещин. В местах образования трещин проявляются сухие и влажные высолы, что позволяет утверждать, что трещины сквозные. Выявленные в обделках тоннелей дефекты и протечки привели к некоторому снижению несущей способности и на эксплуатационных характеристиках конструкций это существенно не отразилось, но при этом необходимо вести мониторинг технического состояния.

Инструментальное обследование проводилось с применением следующих методов: геолокации, магнитный, ультразвуковой, электромагнитный методы. Метод геолокации имеет наибольшее значение в вопросе

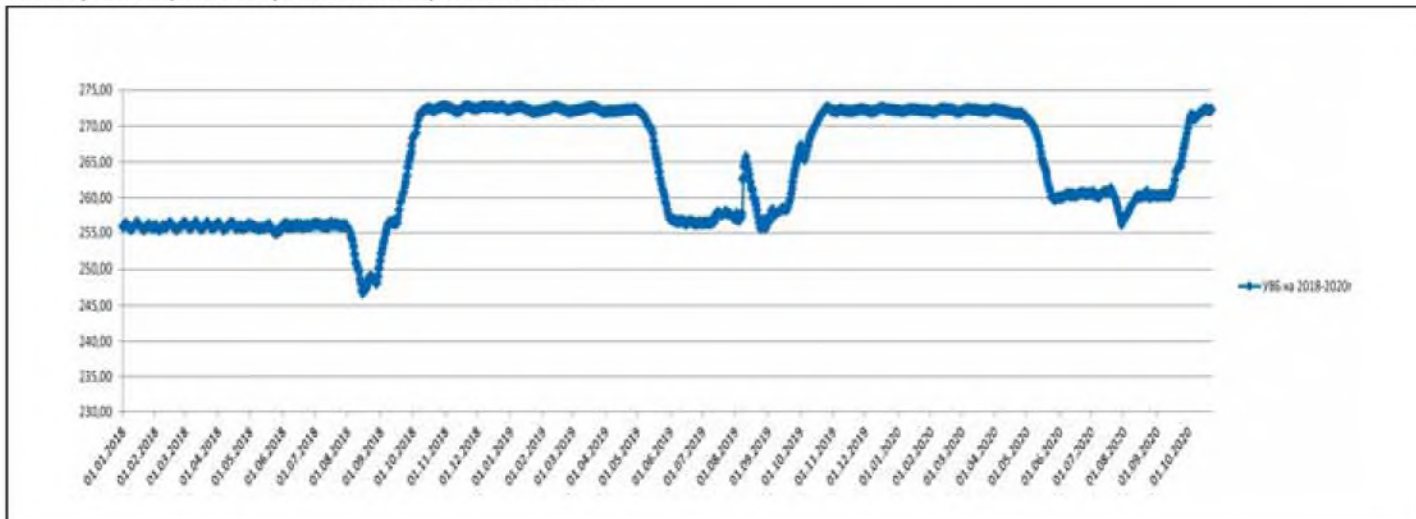
обследования заобделочного пространства. С его помощью получено общее представление о состоянии системы «обделка – грунтовый массив», а именно: определили возникшие в процессе эксплуатации тоннеля пустоты вокруг обделки тоннеля, а также наличие пустот и зон обводнения грунта. Учитывая характер сооружения, миграция воды в заобделочном пространстве велика, особенно после начала набора плотины. Вода, встречая преграду на своем пути, стремится найти пути наименьшего сопротивления, что может приводить к ее перемещению по трещинам и пустотам в скальных грунтах, примыкающих к береговой части ГЭС.

В свою очередь, многолетнемерзлые грунты, оказываясь в непосредственном контакте с водой, имеющей положительную температуру, могут подвергаться изменению собственных механических свойств. Стоит так же отметить, что присутствие воды за обделкой создает дополнительное гидростатическое воздействие на нее. Учитывая данный факт, в процессе обследования было уделено внимание гидростатическому давлению на обделку тоннелей.

Оценка влияния гидростатического давления определялась с помощью пьезометров, расположенных внутри тоннелей. Данные приборы предназначены для фиксации давления воды в заобделочном пространстве.

Ввиду наличия тектонических трещин в горном массиве на берегу реки Колымы становится возможной миграция воды по этим трещинам в обход сооружаемой плотины. Для анализа данной ситуации был построен график уровня верхнего бьефа плотины Усть-Среднеканской ГЭС в период эксплуатации сооружения (рис. 4). На графике отчетливо видно, что с осени 2018 г. производился набор плотины до нормального подпорного уровня – наивысшего проектного подпорного уровня верхнего бьефа, который может поддерживаться в нормальных условиях эксплуатации плотины. Этот процесс мог вызвать возможную миграцию воды в сторону от плотины по имеющимся тектоническим трещинам в берегах русла реки.

Рис. 4. Уровень верхнего бьефа плотины на период 2018–2020 гг.



Санкт-Петербургскому горному университету

Коллектив кафедры тоннели и метрополитены Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I поздравляет вас с 250-летием со дня основания Санкт-Петербургского горного университета.

С момента подписания указа императрицей Екатериной II в 1773 г. о создании первого высшего технического учебного заведения Горного училища до настоящего времени на протяжении всех лет своего существования Горный университет выполнял функцию основного «конструкторского бюро» Российской империи, СССР, а теперь России. На протяжении 250 лет ваши учёные создают прорывные технологии и внедряют их на предприятиях минерально-сырьевого комплекса.

Кафедры университета обладают современной материально-технической базой и продолжают ее совершенствовать, следуя вызовам времени. Вы сумели в полной мере реализовать те возможности, которые возникли в связи с кардинальными изменениями, прошедшими в нашей стране за последние годы. Ваши труды - это не только вклад в науку, это вклад в национальную энергетическую безопасность и социально-экономическое развитие страны. Широкая практическая и инновационная направленность деятельности, современные технологии, новаторские проекты, которые реализуются в стенах университета, позволяют вам уверенно нести звание лидера.

Неразрывная связь учебного процесса с научными исследованиями, интенсивное использование инновационных технологий, широкая гамма реализуемых образовательных программ, тесные связи университета с ведущими предприятиями, научными организациями, а также активное участие в общественной жизни города, позволяют вашим выпускникам достигать больших высот в различных сферах и областях деятельности и плодотворно работать на благо национального процветания.

Коллектив кафедры желает вашему вузу верности традициям и неуклонного движения вперед, реализации всех планов и успешного творческого поиска, весомого вклада в копилку научного и образовательного потенциала нашей родины!

Мы искренне гордимся вашей историей и вашими достижениями!

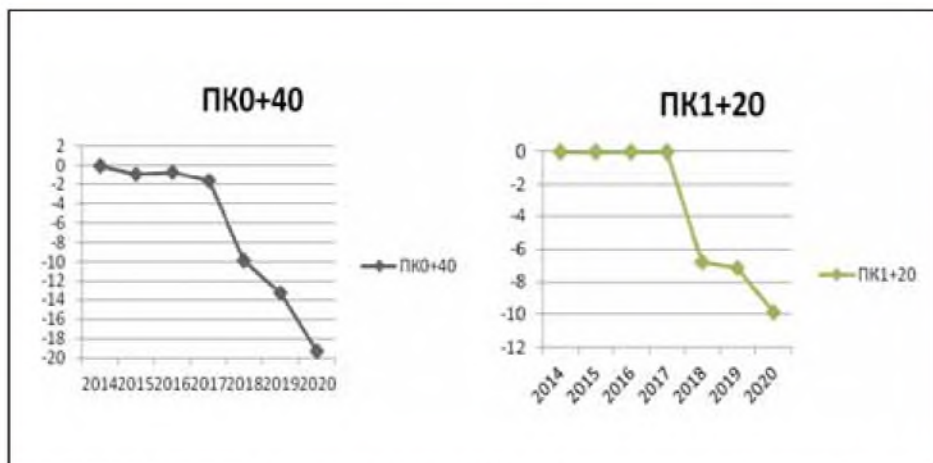


Рис. 5. Графики изменения высотного положения марок подходного и дренажного тоннелей в поперечном направлении

Анализ данных геодезических измерений за весь период начальной эксплуатации. Для выполнения геодезических наблюдений за вертикальными и плановыми перемещениями в тоннелях создана опорная плано-высотная геодезическая сеть. Геодезические наблюдения проводились с периодичностью раз в год.

По результатам наблюдений были построены продольные разрезы подходного и дренажного тоннелей на каждый год наблюдений и общий график изменения высотного положения стен тоннеля за период наблюдения. Путем анализа полученных данных было определено, что комплекс подходного и дренажного тоннеля имеет общую динамику к просадкам величиной около 1 см в год. На рис. 5. показаны графики изменения высотного положения отдельных пикетов тоннелей в поперечном направлении.

Математическое моделирование обделки тоннеля на статическое и сейсмическое воздействие. Для определения напряженно-деформированного состояния обделки был проведен расчет математической модели обделки тоннеля с учетом сейсмической активности региона расположения объекта.

В ходе расчета была разработана модель конструкции обделки подходного тоннеля высотой  $H_T = 5,75$  м, расположенной в сложных инженерно-геологических условиях при сейсмических воздействиях 8 баллов. Результаты расчета в направлении оси Y представлены на рис. 6.

Анализ результатов моделирования установил, что основное влияние на несущую способность обделки оказывает комбинация статических нагрузок, включающих вертикальное и горизонтальное горное давление и собственный вес обделки.

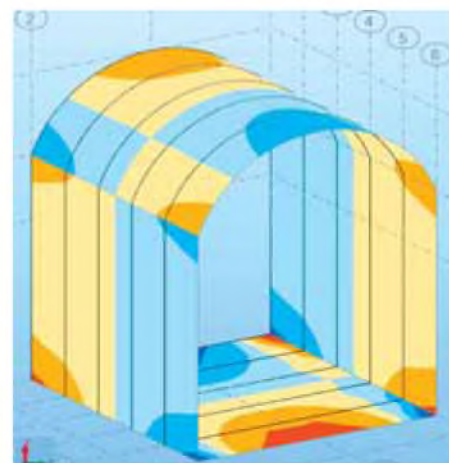


Рис. 6. Распределение изгибающего момента в направлении оси Y

Также было установлено, что изгибающий момент от сейсмических нагрузок в направлении Y увеличивает значения статических воздействий на 15 %.

Таким образом, по итогам обследования было определено, что факторы, влияющие на НДС тоннельных сооружений в условиях их расположения в арктической зоне, требуют дальнейшего изучения. Выявленные причины и закономерности изменения напряженно-деформированного состояния обделки тоннеля и вмещающего его грунтового массива по данным результатов обследования, геодезического и гидростатического мониторинга легли в основу рекомендации по дальнейшей эксплуатации объекта и в будущем позволят спрогнозировать напряженно-деформированное состояние грунта и тоннельной обделки в условиях длительной эксплуатации.



# РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ РАСЧЕТА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В РОССИИ

А. С. Саммаль, д. т. н., П. В. Деев, д. т. н., С. В. Анциферов, д. т. н., Тульский государственный университет  
М. О. Лебедев, к. т. н., ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

**В работе выполнен краткий исторический обзор методов расчета подземных сооружений, подходов к учету горного давления на конструкции крепей. Показана география использования аналитических методов расчета, разработанных отечественными учеными. Отмечена перспективность развития аналитических методов расчета подземных сооружений с учетом техногенных полей напряжений в горных массивах, выявленных по результатам натурных исследований. Выделена немаловажная роль Горного университета Санкт-Петербурга в практике решения научных и прикладных задач механики подземных сооружений.**

**Ф**ормированию современной теории расчета подземных сооружений предшествовал длительный период накопления эмпирических данных, а также анализа и обобщения принципиально новых теоретических представлений о взаимодействии подземных конструкций с вмещающим горным массивом. Первоначально для расчета обделок тоннелей и крепи горных выработок использовался общий подход, применяемый при проектировании наземных конструкций, в основу которого положены базовые принципы строительной механики и сопротивления материалов. Подземные сооружения рассчитывались в три этапа, включающих сбор нагрузок, определение внутренних усилий и оценку прочности конструкции. При этом наибольшие трудности были связаны с определением горного давления, под которым понимались нагрузки, действующие на крепь в рассматриваемых горно-геологических условиях.

Первая отечественная теория определения горного давления была предложена инженером-полковником Ф. Ф. Перротом, который на основании наблюдений за состоянием подземных конструкций, применяемых в разных горно-геологических условиях, сделал вывод о необходимости определять параметры об-

делок тоннелей с помощью расчета. Формулы, полученные Ф. Ф. Перротом, были использованы при проектировании кирпичных обделок Виленского и Ковенского тоннелей Петербургско-Варшавской железной дороги.

Вопрос о природе горного давления и способах его практического определения был подробно рассмотрен профессором М. М. Протоdjяконовым в монографии «Давление горных пород и рудничное крепление». Эмпирические формулы, полученные М. М. Протоdjяконовым на основе обработки результатов экспериментов и опыта крепления горных выработок, до сих пор применяются при расчете подземных сооружений.

Следует отметить исследования С. И. Белзещкого и его труд «Рациональные формы сплошных упругих арок», который был применен при проектировании обделок тоннелей Уссурийской железной дороги.

Профессор Петербургского института путей сообщения Л. Ф. Николаи при проектировании Сурамского тоннеля Грузинской железной дороги впервые применил методы теории упругости для расчета двух вариантов подковообразных обделок.

Большое значение для развития теории расчета подземных сооружений имели труды академика Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, посвященные определению напряженного состояния массива пород в окрестности протяженных выработок различных сечений, в том числе подкрепленных обделками. При этом при выполнении исследований он впервые в России применил метод фотоупругости, основанный на использовании способности некоторых материалов в деформированном состоянии проявлять свойство оптической анизотропии.

Значительным достижением в развитии теории расчета подземных сооружений явилось создание в 1936 г. инженерами Метропроекта Б. П. Бодровым и Б. Ф. Матери метода Метрогипротранса, при разработке которого был включен массив пород, моделируемый большим числом

упругих стержней. Несмотря на ряд существенных упрощений (например, замена конструкции криволинейного очертания шарнирной цепью и моделирование сплошной среды отдельными упругими элементами), этот метод получил широкое распространение и успешно используется до настоящего времени.

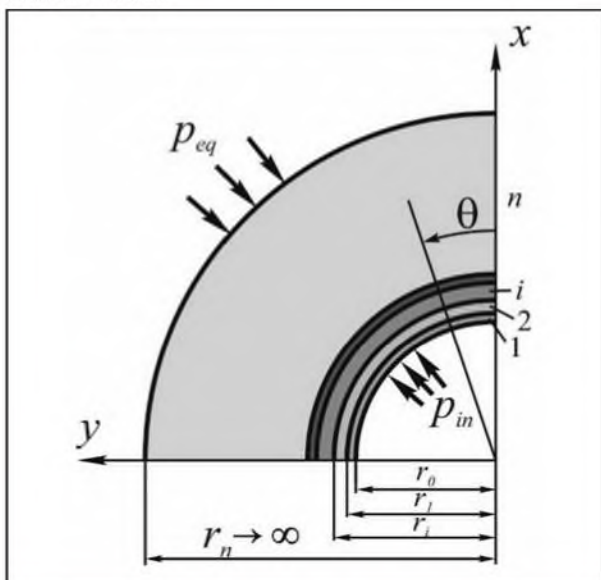
Определение нагрузок, действующих на несущие конструкции со стороны массива пород, еще долго оставалось основной проблемой расчета подземных сооружений. Однако анализ накопленного опыта в подземном строительстве и проектировании убедительно показывал, что нагрузка на крепь существенно зависит от ее конструктивных особенностей и технологии возведения.

Существенный вклад в развитие теории взаимодействия крепи и вмещающего массива пород был сделан К. В. Рушнейтом, решившим задачу о совместном деформировании массива, моделируемом упругопластической средой, и крепи выработки, моделируемой кольцом из линейно-деформируемого материала. Результаты выполненных под его руководством исследований позволили разработать новые подходы к решению вопросов, связанных с определением горного давления, и заложить теоретические основы рационального проектирования крепи горных выработок.

Дальнейшие успехи в развитии теории расчета подземных сооружений связаны с широким внедрением методов математической теории упругости, разработанных, прежде всего, в трудах Н. И. Мухелишвили, А. Н. Динника, Д. И. Шермана и Г. Н. Савина. При этом разрабатываемые новые методы расчета базировались на рассмотрении горного массива в качестве бесконечной линейно-деформируемой среды, ослабленной отверстием, моделирующим выработку. В результате на качественно новом уровне был решен целый класс задач, имевших большое значение для горного дела и подземного строительства.

Особая роль в развитии теории расчета подземных сооружений принадлежит исследованиям ученых Ленинградского горного института, среди которых следует отметить труды Н. С. Бульчева, обобщившего и систематизировавшего имеющиеся достижения в области расчета подземных конструкций. В результате он сформулировал принципы нового научного направления «Механика подземных сооружений»:

Рис. 1. Общая расчетная схема комбинированной крепи шахтных стволов



- подземные конструкции и окружающий массив пород должны рассматриваться как элементы единой деформируемой системы;

- в качестве модели массива пород должна применяться сплошная среда;

- отставание возведения подземной конструкции от забоя выработки может учитываться путем введения в результаты расчета соответствующего корректирующего множителя.

Методы расчета, основанные на строгих аналитических решениях соответствующих плоских задач теории упругости, получили общее название «аналитические методы расчета подземных сооружений». При этом нагрузки, прикладываемые к подземным конструкциям, не задаются, а определяются в процессе рассмотрения единой деформируемой системы «крепь – массив».

Острая необходимость в применении аналитических методов расчета возникла при проектировании тоннелей Байкало-Амурской магистрали (БАМ), сооружаемых в сейсмически активном регионе, поскольку метод Метрогипротранса, широко используемый для расчета подземных конструкций, не позволял адекватно оценить воздействия от землетрясений. Решение этой проблемы было дано Н. Н. Фотиевой, Н. С. Бульчевым, К. П. Безродным и И. Я. Дорманом, которые предложили новые методы расчета подземных сооружений на сейсмические воздействия землетрясений, а также создали и внедрили в практику соответствующую научную базу проектирования тоннельных обделок.

Важным событием в становлении механики подземных сооружений явилась проведенная в Ленинградском горном институте Всесоюзная научная конференция «Проблемы механики подземных сооружений» (1978 г), на которой Н. С. Бульчев и Н. Н. Фотиева сделали генеральные доклады о новых методах расчета подземных конструкций и их успешном внедрении при проектировании Байкальского и Северомуйского тоннелей БАМ, Рогунской ГЭС. По итогам конференции на правительственном уровне было принято решение одобрить и рекомендовать к широкому внедрению методы расчета крепи горных выра-

боток и обделок тоннелей, основанные на решениях контактных задач о взаимодействии подземных конструкций с массивом пород. Также было рекомендовано ввести в учебные планы вузов, занимающихся подготовкой инженеров горных специальностей, новую дисциплину «Механика подземных сооружений».

Аналитические методы расчета обделок тоннелей (методы механики подземных сооружений) получили широкое внедрение в практику проектирования и строительства подземных сооружений, как правило – в наиболее сложных инженерно-геологических условиях. Ниже приводится далеко не полный перечень объектов внедрения: Байкальский, Кодарский, Нагорный, Северомуйский и Мысовые тоннели БАМ; тоннели Днестровской ГЭС-ГАЭС и Майхинского гидроузла; тоннели Байпазинской, Нурекской, Памирской, Рогунской, Ташкумырской ГЭС; Санкт-Петербургский (Ленинградский) метрополитен; автомобильные тоннели на магистрали Ялта – Симферополь и на подъездной дороге к Ирганайскому гидроузлу; коммуникационные и коллекторные тоннели в Воронеже, Костроме, Краснодаре, Нижнем Новгороде, Ростове-на-Дону, Сочи, Таллине, Чебоксарах и других городах; вертикальные шахтные стволы, построенные способом бурения, в том числе – на урановом месторождении в Узбекистане; капитальные горные выработки шахт в Донецком, Карагандинском, Печорском угольных бассейнах, в Криворожском железорудном бассейне и др. Один из последних объектов – Олимпийские тоннели в Сочи.

Методы расчета внедрены также при проектировании и строительстве зарубежных объектов – железнодорожных тоннелей Малле Леднице и Полом в Чехии, комплекса подземных сооружений ГЭС Мрича на реке Серау в Индонезии (Центральная Ява), ирригационных тоннелей водохранилищ Хантуман и Северный Кебир в Сирии, тоннеля через Высокие Плато в Алжире и др.

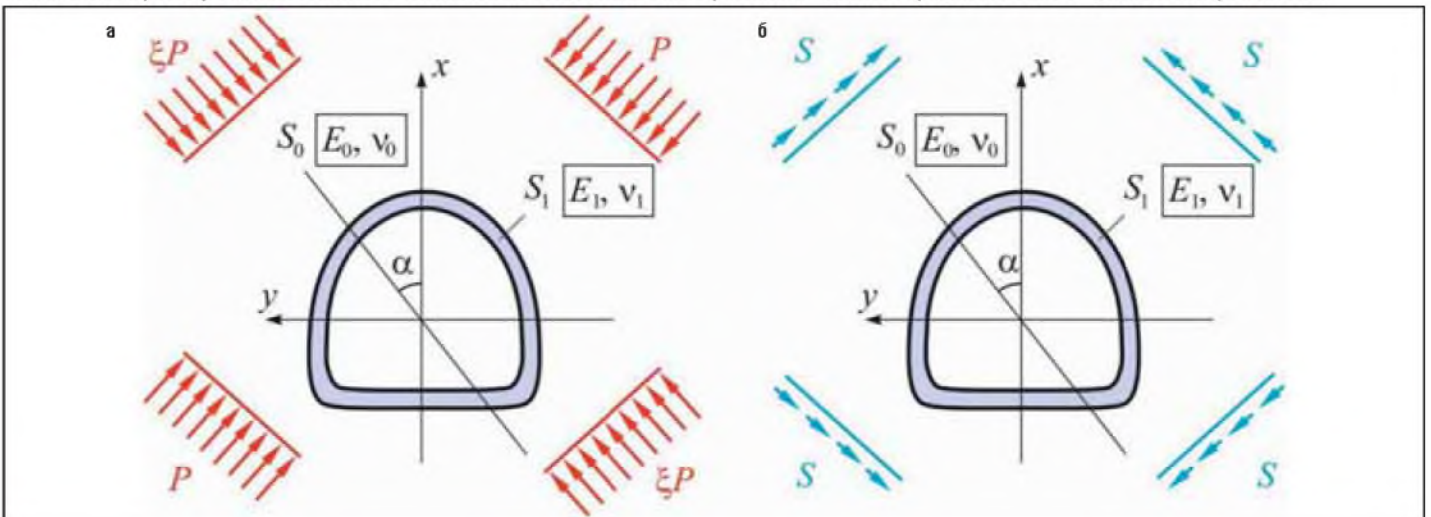
Большой вклад в развитие механики подземных сооружений внес Н. С. Бульчев, который совместно с А. Г. Оловянным разработал метод расчета комбинированной крепи

шахтных стволов. Предложенный авторами метод основан на представлении системы «крепь – массив» в виде многослойного упругого кольца, однородные и квазиоднородные слои которого моделируют элементы (например, тубинги) подземной конструкции, а наружный слой кольца, имеющий бесконечно большую толщину – массив пород (рис. 1). При этом ребра и спинки тубингов моделируются эквивалентными по жесткости однородными слоями с приведенными значениями деформационных характеристик.

Оригинальный метод расчета подземных сооружений некругового поперечного сечения на сейсмические воздействия землетрясений был предложен Н. Н. Фотиевой, работавшей в НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. При этом обделка тоннеля моделировалась упругим кольцом произвольного поперечного сечения, подкрепляющим отверстие в бесконечной линейно-деформируемой среде, моделирующей горный массив, а действие продольных и поперечных волн, распространяющихся в плоскости поперечного сечения сооружения, – напряжениями сжатия или сдвига заданной интенсивности на бесконечности (рис. 2). Поскольку распределение напряжений в подземной конструкции зависит от направления распространения сейсмических волн, которое заранее предсказать невозможно, расчет сводится к определению наиболее опасного напряженного состояния, которое может возникнуть в нормальных сечениях конструкции при любом сочетании и направлении сейсмических волн различного характера.

Компьютерное численное моделирование стало широко применяться при расчете подземных сооружений, начиная с середины 80-х годов прошлого века, при этом наибольшее распространение получил метод конечных элементов (МКЭ), обладающий широкими возможностями использования различных моделей материалов конструкции и вмещающего массива, а также детализации расчетных схем. В Санкт-Петербургском горном университете накоплен значительный опыт внедрения МКЭ в практику решения науч-

Рис. 2. Схема к расчету обделки тоннеля на сейсмические воздействия землетрясений: а – действие продольных волн; б – действие поперечных волн



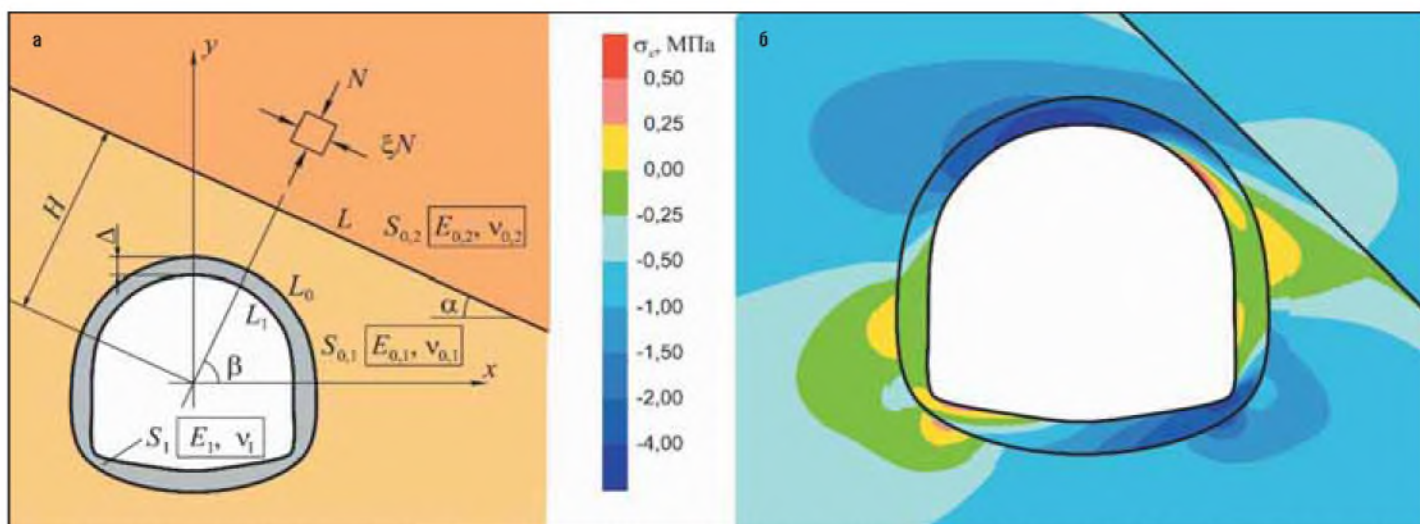


Рис. 3. Расчетная схема обделки тоннеля, расположенного вблизи границы раздела разных пород (а) и изополя горизонтальных напряжений в массиве и подземной конструкции (б)

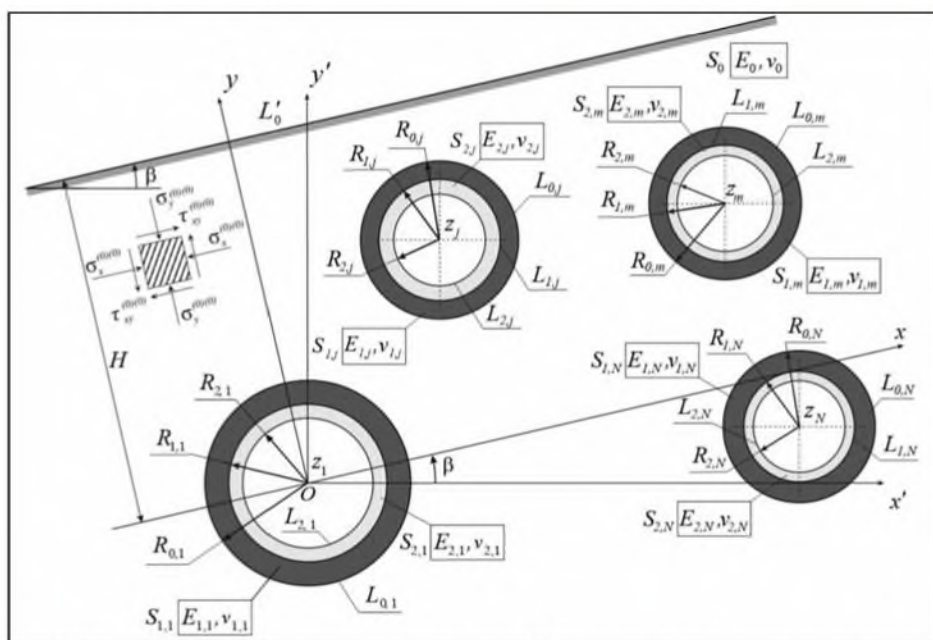


Рис. 4. Расчетная схема комплекса параллельных тоннелей, сооружаемых под склоном с применением инъекционного укрепления пород

ных и прикладных задач механики подземных сооружений. Под руководством проф. А. Г. Протосени получены новые научные результаты, связанные с разработкой оригинальных объемных компьютерных моделей формирования напряженного состояния сложнейших подземных конструкций, использование которых позволило получить новые знания о взаимодействии подземных конструкций с вмещающим горным массивом, что в свою очередь, способствует повышению эффективности и безопасности подземного строительства.

В 1979 г. Н. С. Булычев и Н. Н. Фотиева были приглашены в Тульский политехнический институт, где активно включились в работу по подготовке инженерных и научных кадров для горной промышленности и подземного строительства. В результате под их руководством в Туле сформировалась научная школа, исследования которой существенно расширили область приме-

нения аналитических методов расчета подземных сооружений.

Разработанные новые подходы позволили учитывать влияние земной поверхности и расположенных на ней сооружений, транспортных средств, движущихся по поверхности и внутри тоннеля, неоднородность и анизотропию горного массива. Кроме этого, были получены решения ряда обратных задач, связанных с определением параметров напряженного состояния вмещающего горного массива по результатам измерений конвергенций контуров поперечных сечений выработок или напряжений в обделках. Разработанные методы и реализующие их компьютерные программы передавались специализированным проектным организациям, в том числе ОАО «Ленметрогипротранс», и применялись в практическом проектировании.

Одним из направлений современных, выполняемых в Тульском государственном уни-

верситете исследований в области теории и аналитических методов расчета подземных сооружений, является учет влияния границы раздела слоев пород с существенно различающимися деформационными характеристиками на напряженное состояние и несущую способность обделки сооружаемого в непосредственной близости тоннеля. Применяемая расчетная схема и пример распределения горизонтальных напряжений в подземной конструкции и массиве пород представлены на рис. 3.

Еще одним перспективным направлением является разработка методического и программного обеспечения оценки влияния наклона земной поверхности на напряженное состояние обделок тоннелей мелкого заложения (рис. 4). При этом обделки тоннелей и приконтурные зоны массива, в которых свойства грунтов изменились в результате техногенного воздействия (например, вследствие искусственного укрепления), моделируются концентрическими многослойными кольцами, а поле начальных напряжений в полуплоскости определяется с учетом рельефа местности.

В заключение отметим, что развитие современных компьютерных технологий создает предпосылки для дальнейшего совершенствования аналитических методов расчета подземных сооружений, открывая новые возможности при решении сложных задач механики подземных сооружений. При этом перспективным направлением является использование итерационных алгоритмов, позволяющих вводить в рассмотрение, например, взаимное влияние сооружений, в том числе – расположенных вблизи склонов, границ раздела пород с различными физико-механическими свойствами, а также техногенных полей напряжений в горных массивах. Особое значение имеет тот факт, что в разрабатываемых новых методах расчета закладывается возможность применения полученных данных натурных исследований с целью оперативной корректировки исходных параметров, характеризующих внешние воздействия.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТУПНОЙ СРЕДЫ ПОДЗЕМНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ

## MODERN APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF ACCESSIBLE ENVIRONMENT OF UNDERGROUND PUBLIC SPACES

**А. В. Плукчи**, магистр, Санкт-Петербургский горный университет

**О. Б. Ушакова**, Санкт-Петербургский горный университет

**A. V. Plukchi**, master, Saint-Petersburg Mining University

**O. B. Ushakova**, Saint-Petersburg Mining University

В данной статье на основе анализа современного мирового опыта в организации доступной среды подземных пространств для маломобильных групп населения (МГН) были выявлены актуальные проблемы, а также различные средства и методы их решения.

*In this article, based on the analysis of the modern world experience in organizing an accessible environment of underground spaces for low-mobility groups of the population, actual problems and various means and methods of their solution have been identified.*

На сегодняшний день общая ситуация с подземной транспортной инфраструктурой для МГН находится в неудовлетворительном состоянии. С развитием подземного общественного транспорта появился спектр проблем не только по реализации проектов подземной сети дорог, но и с их эксплуатацией маломобильными группами населения.

Статус инвалидности присваивается на сегодняшний день около 16 % населения Земли. Это внушительный показатель, учитывая, что к маломобильным группам населения относятся не только люди с инвалидностью, но и люди, испытывающие трудности в самостоятельном передвижении, ори-

ентировании в пространстве, считывании информации и получении услуг. Также к МГН причисляются люди преклонного возраста, родители с колясками, малолетние дети, т. е. люди, испытывающие проблемы с передвижением.

МГН требуется помощь и поддержка, проявляющаяся в создании безбарьерной среды. Безбарьерной называют среду, которая позволяет комфортно передвигаться людям с ограниченными возможностями. Они ежедневно сталкиваются с «недружелюбными» городскими пространствами, начиная от пандусов и рамп с ненормированным углом наклона, заканчивая спусками в сеть подземных транспортных узлов в виде подъемни-

ков и лифтов, которые, в большинстве своем, не функционируют. Вопрос создания безбарьерной среды, позволяющей маломобильным группам населения передвигаться в городской среде и подземных сооружениях без затруднений, весьма актуален и требует разработки решений по оптимизации инфраструктуры. Данная проблема тянется долгие десятилетия. Известным случаем, вызвавшим резонанс общества, является распоряжение Петербургского метрополитена 2011 г, согласно которому инвалидов с коляской в метро пускать запрещено, т. к. метрополитен не приспособлен для этого. Об этом сообщила в сети Интернет и средствам массовой информации студентка-инвалид

Рис. 1. Венгерский проект

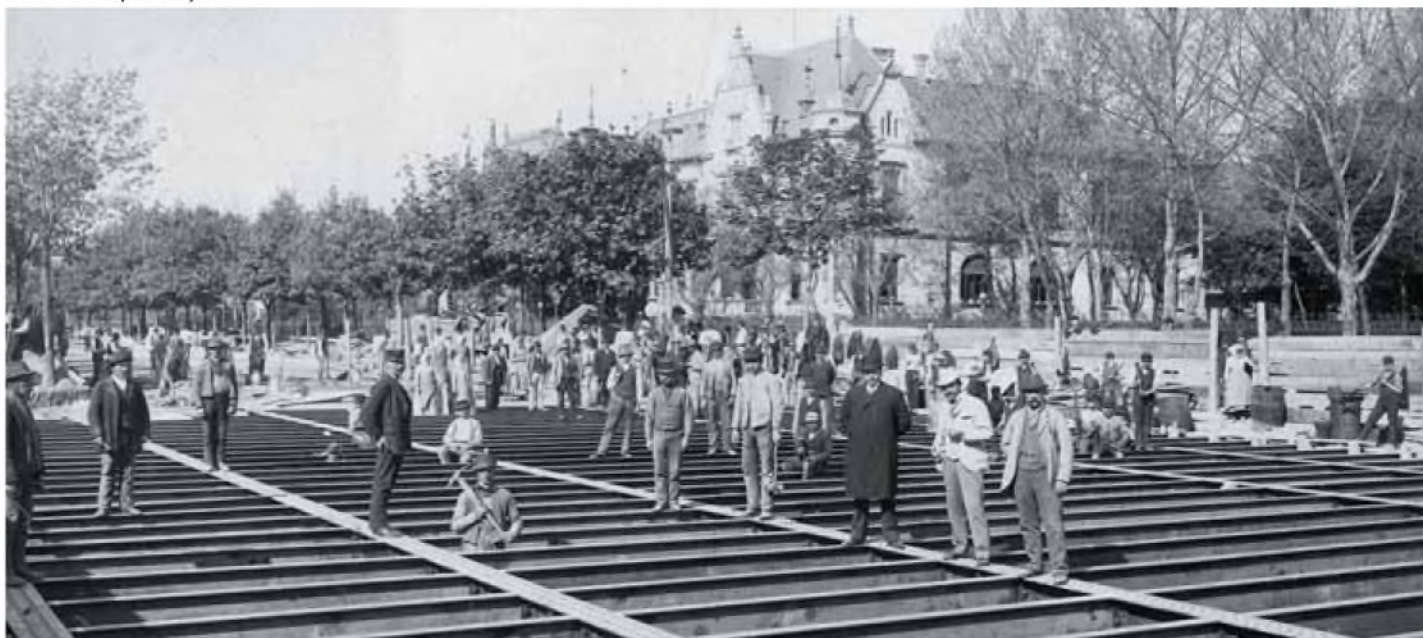




Рис. 2. Примеры остекленных павильонов-киосков

Евгения Гурова. По ее словам, именно метрополитен в северной столице являлся чуть ли не единственным средством для ее передвижения, т. к. наземный транспорт с низкой платформой встречается редко.

В связи с большим количеством технологических сложностей и ограничений имущественно-правового характера, примеров встроенных в существующие исторические здания и объекты культурного наследия вестибюлей метрополитена сравнительно мало в Российской Федерации и странах Европы. В центральных исторических частях городов нередким приемом является прокладка линий метрополитена в створе крупных наземных дорожных артерий. Такой способ обусловлен простотой их возведения – мелкое заложение открытым способом. Первым известным примером такого способа строительства является первая линия метро в Будапеште под проспектом Андраши.

Венгерский проект был реализован в 1896 г. по проекту компании «Сименс и Гальске» (рис. 1).

Широко распространённым приемом по дооборудованию существующих станций метрополитена для обслуживания пассажиров

маломобильных групп населения является создание подъемно-транспортных устройств и дополнительных выходов на поверхность земли. Одним из таких решений служат компактные остекленные павильоны-киоски в общественных доступных местах (рис. 2). Одна из проблем заключается в том, что данный прием сложно воплотить в условиях плотной исторической застройки в центре города.

Санкт-Петербургский метрополитен отличается от большинства других тем, что глубина его заложения достигает 70 м. Второй отличительной чертой Петербургского метрополитена является то, что его линии зачастую трассировались сравнительно свободно по отношению к сложившейся улично-дорожной сети города и его водным артериям. Отсюда и особенности по расположению наземных вестибюлей. Центральный район Санкт-Петербурга с плотной брандмаурной застройкой вынуждает к необходимости вторжения наземных вестибюлей в исторически сложившуюся среду. Такая же проблематика наблюдается во Франции, Париже. Здесь в силу того, что сложности модернизации станций метрополитена чрез-

вычайно затратные и сложны в реализации, приоритет по созданию безбарьерных транспортных сетей отдан городскому наземному транспорту.

В Санкт-Петербурге сегодня отсутствуют реализованные примеры специализированных наземных вестибюлей и сопутствующих сооружений, оборудованных для доступа МГН к платформам метрополитена. Вместе с тем в годы активного строительства Ленинградского метро в зоне исторического центра, был накоплен значительный опыт встройки вестибюлей в существующие исторические здания и объекты культурного наследия. Достоинства и недостатки, выявленные при реализации этих объектов, необходимо учитывать при решении актуальных современных задач.

Разработанный СНиП 35-01-2001, а затем, на его основе, издание СП 59.13330.2010 и его актуальная версия СП 59.13330.2016 способствовали тому, что в настоящее время удобным и комфортным средством передвижения для МГН считается метрополитен, а не наземный транспорт (как это считали раньше). Данная нормативно-правовая база

Рис. 3. Сопровождение маломобильных групп населения



обозначила проблему доступности подземных сооружений для МГН и предложила пути её решения. Адаптация подземных путей сообщения проявляется во многих аспектах, например: оборудование пандусов при входах в метро, при спуске на платформу, на путях переходов между станциями. Данные средства стали внедрять совсем недавно, благодаря программе «Доступная среда». Это благоприятно повлияло на использование метрополитена людьми с ограниченными возможностями. Также в данную программу входит целый спектр новшеств, позволяющих создать доступную среду для МГН. По плану процент приспособленных станций метро для МГН должен составлять в 2025 г. до 25,3 % от их общего числа.

На данный момент возможность использования метрополитена людьми с ограниченными возможностями предоставляет служба обеспечения мобильности пассажиров, а именно «Дистанция обеспечения мобильности пассажиров» в Петербургском метрополитене. Подготовленный персонал помогает преодолевать различные препятствия, эскалаторы и лестничные спуски, а также сопровождать на протяжении всего пути всех представителей маломобильной группы населения (рис. 3). Вспомогательные операции этой службы нивелируют отклонение пандусов и спусков от нормативов. Пандусы для инвалидов сложны своей конфигурацией и протяженностью.

Применяются различные вспомогательные устройства и механизмы, решающие проблему размещения протяженного пандуса: платформенные лестничные подъемники, лифтовые подъемники, тележки для перевозки инвалидов-колясочников по эскалаторам и лестницам (рис. 4).

Для людей первой и второй группы инвалидности, которые способны передвигаться, но испытывают сложности с восприятием информации с помощью зрения и слуха существует целая система визуальных и тактильных маркеров, которые способствуют безопасности их передвижения в метрополитене. Данное оборудование основывается на ГОСТ Р 52131 2019 «Средства отображения информации, знаковые для инвалидов». Маркеры проявляются в различных деталях интерьера, начиная с подходов к станции метрополитена и внутри: маркировка краевых ступеней лестничного марша и маркировка, обозначающая края пандуса, а также маркировка прозрачных дверей.

## Выводы

Создание доступной среды подземных пространств для маломобильных групп населения (МГН) крайне актуально ввиду количества населения, относящегося к данной категории. Рассмотрев современные тенденции и выявив проблемы, становится понятно, что перспектива средств, предоставляющих доступность, велика и очень актуальна. Создание временного решения в виде служб обеспечения мобильности внесло большой вклад

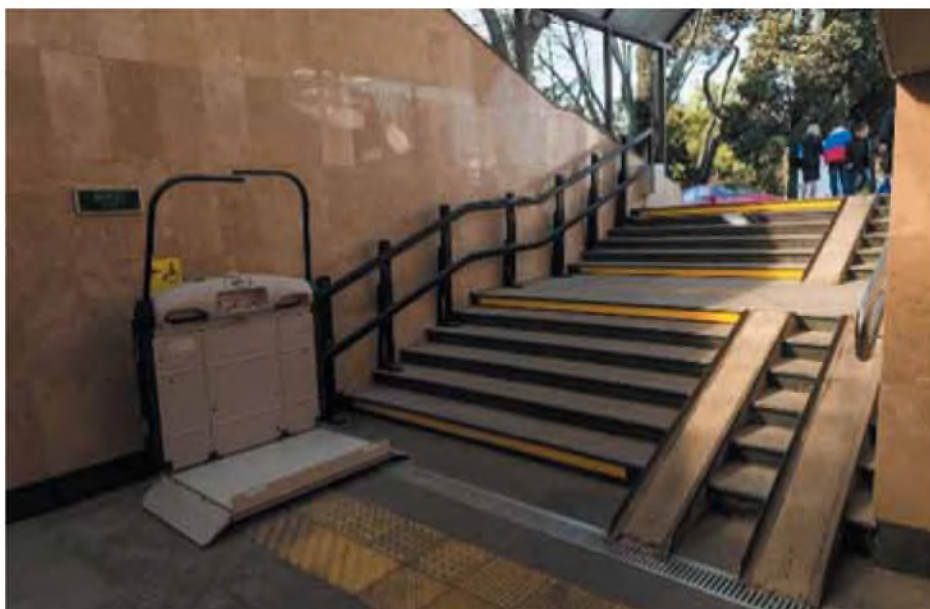


Рис. 4. Вспомогательные механизмы для передвижения МГН

в степень комфорта при использовании метрополитена МГН, но полноценная комплексная система устройств и средств по транспортировке людей с ограниченными возможностями была бы намного полезней и окончательно бы решила выявленную проблему недружелюбности и опасности метрополитена для них. Для соответствия всем объемно-планировочным решениям новые станции метрополитена должны учитывать выявленные тенденции, выбрать наиболее актуальные и по возможности модернизировать их. К данным решениям, в первую очередь, относятся лифты и подъемники, позволяющие транспортировать лиц всех категорий без сопровождения, и особенно, маломобильные группы населения и людей, испытывающих трудности в передвижении.

## Ключевые слова

Безбарьерная среда, доступность метрополитена, комфортность жизнедеятельности, ориентирование, свободное передвижение, маломобильные группы населения.

*Barrier-free environment, accessibility of the subway, comfort of life, orientation, free movement, people with limited mobility.*

## Список литературы

1. СП 59.13330.2016 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.
2. СП 35.103.2001 Общественные здания и сооружения, доступные маломобильным посетителям.
3. Постановление Правительства РФ от 29 марта 2019 г. № 363 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Доступная среда».
4. ГОСТ Р 52131-2019 Средства отображения информации знаковые для инвалидов. Технические требования.

## Для связи с авторами

Плукчи Артем Валерьевич  
s22321@stud.spmi.ru  
Ушакова Ольга Борисовна  
usho@mail.ru



# ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОХРАННОСТИ ЗДАНИЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ И КОТЛОВАННЫХ РАБОТ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

## GEOTECHNICAL ASPECTS OF ENSURING THE SAFETY OF HISTORICAL BUILDINGS DURING UNDERGROUND AND EXCAVATION WORKS IN THE CENTRAL PART OF SAINT-PETERSBURG

**Р. А. Мангушев**, член-корреспондент РААСН, д. т. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

**А. И. Осокин**, к. т. н., доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

**И. П. Дьяконов**, к. т. н., доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

**Ф. Н. Калач**, ведущий инженер, ассистент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

**R. A. Mangushev, A. I. Osokin, I. P. Diakonov, F. N. Kalach**, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Настоящая статья рассматривает геотехнические аспекты обеспечения безопасного строительства подземных сооружений и выполнения экскавационных работ в условиях плотной городской застройки около исторических зданий в центральной части Санкт-Петербурга. В статье проанализированы факторы риска и условия, исключающие негативное влияние образования неравномерных деформаций соседней застройки. Одним из направлений исследований является изучение влияния компенсационного инъекционного закрепления слабых грунтов.

*This article examines the geotechnical aspects of ensuring the safe construction of underground structures and excavation work in conditions of dense urban development near historical buildings in the central part of St. Petersburg. The article analyzes risk factors and conditions that exclude the negative impact of the formation of deformations of neighboring buildings. One of the directions of research is to study the effect of compensatory injection of soft soils.*

При устройстве котлованов в плотной городской застройке используются различные конструктивные и технологические решения по устройству конструкции ограждения котлована из условия обеспечения устойчивости, прочности и деформативности. Выбор конструктивного решения зависит от инженерно-геологических условий площадки, глубины котлована, его размеров, технического состояния окружающей застройки и типа и глубины заложения фундаментов существующих зданий. Сегодня кроме традиционных методов ограждения котлована из шпунтовых профилей, раскрепляемых распорными конструкциями, активно применяются сравнительно новые методы: конструкция «стена в грунте», в том числе в сочетании с методом раскрепления перекрытиями (Top-Down), ограждения из касательных свай с Jet-шпонкой, устройство ограждения методом перемешивания грунта высоконапорной инъекцией (Jet Grouting) с формированием грунтоцементного массива (ГЦМ), глубинное перемешивание грунтов (Deep Soil Mixing – DSM) и др.

Анализируя современную практику устройства распорных конструкций при устройстве котлованов в плотной городской застройке в слабых грунтах отмечаем, что основными

критериями выбора того или иного метода раскрепления ограждающих конструкций котлованов являются обеспечение устойчивости в сочетании с оптимальной ценой. Обоснование раскрепления конструкций ограждения котлована принимается на основе выполняемых численных или аналитических расчетов и проводимого технико-экономического сравнения вариантов.

Тип конструкции ограждения котлована определяется её функциональным назначением: временное ограждение котлована предполагает использованием извлекаемого шпунтового ограждения из металлического шпунта, в случае оставшегося шпунтового ограждения его использование рассматривается в качестве противофильтрационной завесы, или же в сочетании функций противофильтрационной завесы и несущей конструкции ограждения подземного объема здания. В последнем случае наиболее подходящим типом ограждения котлована, очевидно, будет конструкция «стена в грунте».

В строительстве подземных сооружений применяются сегодня (рис. 3):

- устройство земляных берм и/или разгрузочных траншей со стороны бровки котлована;
- распорные конструкции;
- подкосы;

- анкера грунтовые;
- угловые распорные конструкции (расстрелы);
- технология Top-Down;
- технология Semi-Top-Down.
- комбинированные методы, сочетающие различные конструктивные решения.

Наиболее экономичным решением удержания конструкции ограждения котлована является решение с грунтовыми бермами или с устройством разгрузочной траншеи со стороны бровки котлована. Однако в условиях высокой стесненности площадки устройство разгрузочных траншей практически невозможно. В табл. 1 приведено сравнение по конструктивно-технологическим критериям различных конструкций ограждения котлована в условиях плотной городской застройки с указанием возможных рисков для каждого из технических решений.

На рис. 5 на основе анализа практически реализованных проектов на 64 строительных площадках, расположенных в центральных районах Санкт-Петербурга в условиях плотной городской застройки в сложных инженерно-геологических условиях с наличием большой толщи слабых грунтов, приведена диаграмма наиболее широко используемых в геотехнической практике технических решений

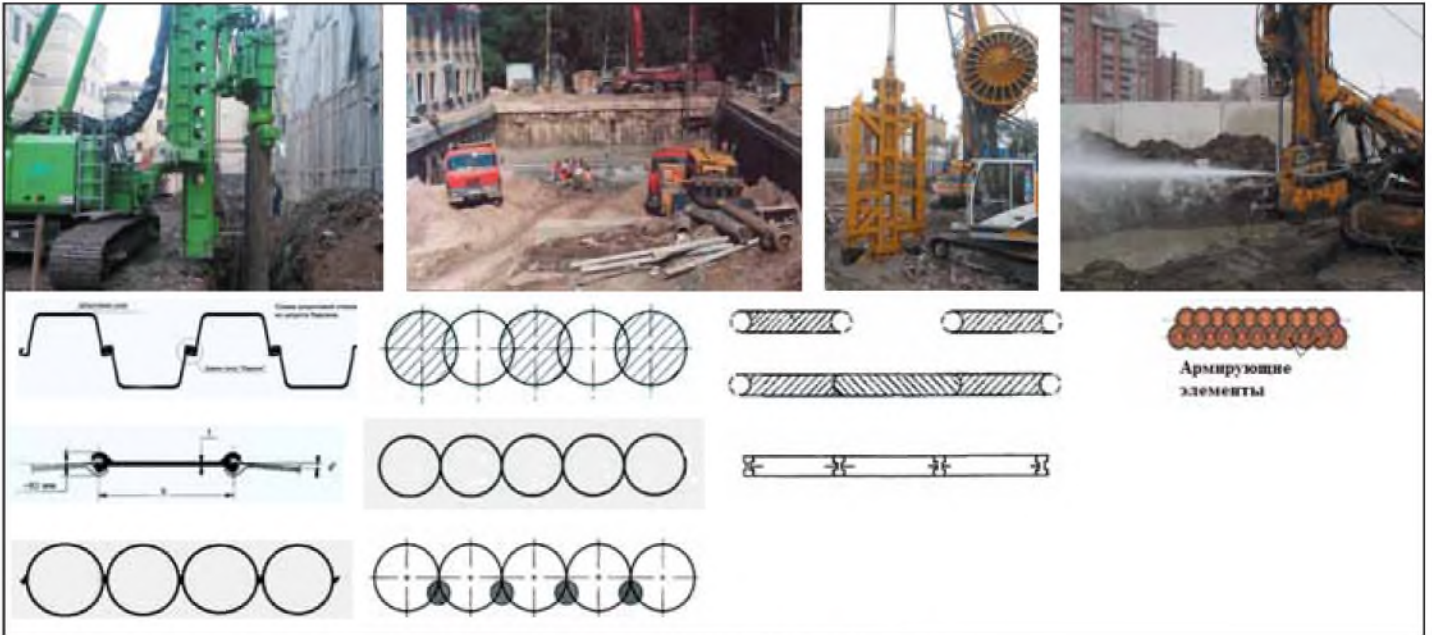


Рис. 1. Сравнение типов ограждающих конструкций котлованов в плотной городской застройке по рискам

по раскреплению ограждающих конструкций. Как видно из диаграммы, наиболее популярны технические решения с устройством распорных конструкций и подкосов (59,4 %).

Следует отметить, что несмотря на низкие показатели несущей способности грунтовых анкеров и наличия ограничений использования из-за наличия инженерных сетей в зоне производства работ, имеются примеры успешного использования таких технических решений.

Для систематизации имеющихся в геотехнической практике конструкций и способов раскрепления котлованов представим их в составе табл. 1, где приводятся конструктивные особенности, преимущества и дан анализ возможных рисков для каждого из типа системы раскрепления.

В рамках исследований выполнен качественный анализ использования различных

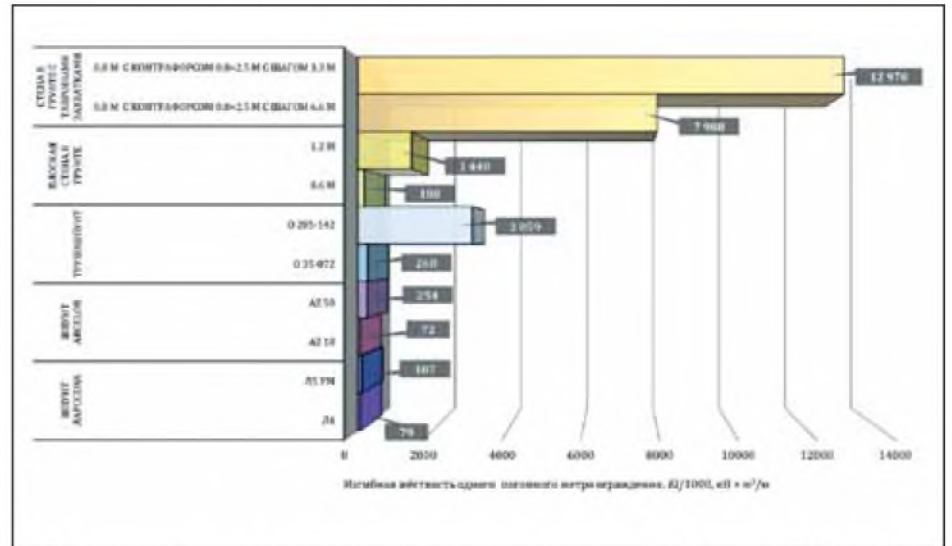


Рис. 2. Сравнение жесткостей различных типов ограждения котлованов (Р. А. Мангушев, Д. А. Сапин, 2015)

Рис. 3. Типы раскрепления котлованов на строительных площадках Санкт-Петербурга: а – распорные конструкции (В.О. Средний пр., д. 93); б – подкосы (Херсонская ул., д. 10–12); в – грунтовые анкера (В.О. 20 линия, д. 5–7); г – угловые распорные конструкции – расстрелы (Невский пр., д. 55); д – перекрытия системы Top-Down (ул. Смольного, д. 6); е – система с распорными монолитными железобетонными конструкциями – части устраиваемого перекрытия, система Semi-Top-Down (Суворовский пр., д. 2)

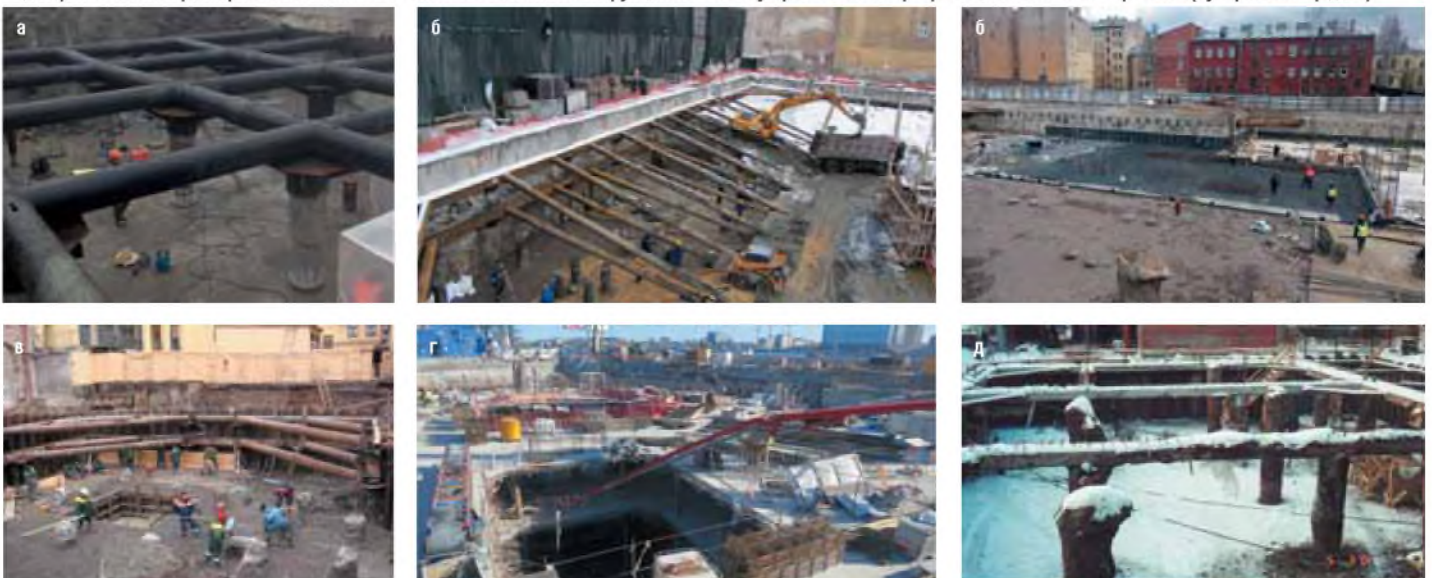




Рис. 4. Строительство подземной части здания с использованием системы Top-Down при строительстве административного здания на застроенной площадке в центральной части Санкт-Петербурга



Рис. 5. Анализ применяемых систем раскрепления котлованов в плотной городской застройке

Таблица 1

| Характеристики ограждающей конструкции            | Тип ограждающей конструкции котлована   |  |  |  |
|---|---|--|--|--|
|   | Шпунтовое ограждение  | Траншейная «стена в грунте»  | Касательные и секущиеся сваи   | Инъекционное закрепление грунтов, глубинное перемешивание или струйная цементация  |
| Глубина котлована с раскреплением ограждения Н, м | от 3 до 20  | от 5 до 30...50  | от 3 до 40   | от 2,5 до 30   |
| Материал ограждения                               | - металлический шпунт<br>- трубошпунт<br>- композитный шпунт  | - железобетон  | - бетон<br>- железобетон<br>- грунтоцемент   | - грунтоцемент   |
| Технология устройства ограждения                  | -вибропогружение<br>- статическое вдавливание   | - траншейная «стена в грунте»<br>- глубинное перемешивание грунта с вяжущими (CSM)   | - буровые сваи<br>- Jet Grouting струйная цементация<br>- грунтоцементные Deep Mixing  | - инъекция закрепляющих растворов в грунт<br>- Jet Grouting струйная цементация<br>- глубинное перемешивание грунтов с вяжущими (CSM)  |
| Геотехнические риски                              | - вибрационное воздействие оказывает негативное влияние на грунты оснований и фундаменты существующих зданий;<br>- при статическом вдавливании отмечено влияние на фундаменты зданий окружающей застройки;<br>- высокая гибкость в продольном направлении способствует деформациям зданий окружающей застройки;<br>- проблемы с погружением в прочные грунты, например: гравелистые пески или плотные и прочные глинистые грунты с включениями гравия, гальки, валунов;<br>- возможность разрушения замков шпунтовых свай при наличии валунов и при технологическом браке | - при наличии прослоев слабых грунтов в виде текучих глинистых грунтов, илов и плавунных грунтов возможно возникновение вывалов и разрывов;<br>- при наличии подземных вод с большими скоростями фильтрации возникают риски размыва конструкции и ее водопроницаемости;<br>- возможны протечки через швы между панелями;<br>- в водонасыщенных песках существуют риски запесочивания бентонитового раствора, что приводит к низкому качеству изготовления конструкции, происходит формирование защитного слоя бетона с низкими прочностными свойствами;<br>- при наличии валунов возможны отклонения конструкции от проектного положения;<br>- возможны вывалы бетона в смежное пространство панели, что приводит к необходимости его разбуривания | - низкая водонепроницаемость сопряжений свай – необходимость герметизирующих цементных шпонок;<br>- при больших диаметрах нарушается сплошность окружающего скважину грунта, возможно поступление плавунных грунтов в скважину – необходимо формировать грунтовую пробку;<br>- существует опасность применения свайных стенок в тиксотропных водонасыщенных грунтах в районах с плотной застройкой – требуется бурение с бентонитовым пригрузом;<br>- при бурении по бетонным сваям возможно значительное динамическое воздействие – требуется подбор бурового инструмента | - возможно влияние на окружающую застройку при создании стенки и грунтоцементного массива ГЦМ при больших захватках;<br>- характеристики ограждения зависят от свойств закрепленного грунта (CSM) – требуется дополнительная верификация свойств ГЦМ;<br>- большой расход цемента из-за отсутствия видимости его;<br>- при наличии слабых прослоев возможно сверхнормативное распространение раствора в горизонте нагнетания (гидроразрыв);<br>- для глубоких котлованов требуется дополнительное жесткое армирование;<br>- возможно поднятие или просадка существующих фундаментов от воздействия струйной цементации |

Таблица 2

Качественный анализ конструктивных и технологических решений удерживающей системы ограждения котлована (нормированные оценки критериев)

| № п/п | Удерживающая система котлована: конструкция ограждения + распорная конструкция                            | Характеристики технологической системы |                          |  |   |   |  |                                    |                      |                                      |                 |
|-------|---|--|--------------------------|--|---|---|--|------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------|
|       |   | Пространственная жесткость – П1        | Водонепроницаемость – П2 | Степень влияния на окружающую застройку – П3 | Ограничение по глубине откопки зачатки – П4 | Технологичность (время возведения) – П5 | Возможность использовать в качестве несущей конструкции – П6 | Условия для разработки грунта – П7 | Оборачиваемость – П8 | Наличие производственного опыта – П9 | Стоимость – П10 |
| 1.    | <b>K1:</b> Шпунтовое металлическое ограждение Ларсен Вум + металлические распорки/подкосы                 | 8                                      | 8                        | 5  | 3   | 7                                       | 3  | 5                                  | 6                    | 8                                    | 8               |
| 2.    | <b>K2:</b> Шпунтовое металлическое ограждение AZ + металлические распорки/подкосы                         | 8                                      | 8                        | 6  | 6   | 7                                       | 4  | 5                                  | 6                    | 8                                    | 6               |
| 3.    | <b>K3:</b> Шпунтовое металлическое ограждение Ларсен Вум или AZ + грунтовые анкера                        | 6                                      | 5                        | 3  | 3   | 6                                       | 3  | 7                                  | 6                    | 4                                    | 5               |
| 4.    | <b>K4:</b> Шпунтовое металлическое ограждение Ларсен Вум или AZ + железобетонные перекрытия (Top-Down)    | 8                                      | 8                        | 7  | 5   | 3                                       | 5  | 5                                  | 1                    | 3                                    | 3               |
| 5.    | <b>K5:</b> Трубчатый шпунт или шпунт HZ + распорные конструкции/ подкосы                                  | 8                                      | 8                        | 6  | 6   | 6                                       | 6  | 6                                  | 3                    | 4                                    | 3               |
| 6.    | <b>K6:</b> Трубчатый шпунт или шпунт HZ + грунтовые анкера  | 6                                      | 8                        | 6  | 5   | 6                                       | 6  | 7                                  | 3                    | 3                                    | 3               |
| 7.    | <b>K7:</b> Ограждение котлована конструкцией ЦГМ (Jet Grouting) + опорные элементы+ распорные конструкции | 6                                      | 5                        | 8  | 5   | 4                                       | 6  | 6                                  | 1                    | 6                                    | 6               |
| 8.    | <b>K8:</b> Стена в грунте + распорные конструкции/подкосы   | 9                                      | 8                        | 8  | 7   | 8                                       | 8  | 6                                  | 1                    | 7                                    | 8               |
| 9.    | <b>K9:</b> Стена в грунте + грунтовые анкера  | 7                                      | 7                        | 7  | 7   | 7                                       | 8  | 7                                  | 1                    | 7                                    | 7               |
| 10.   | <b>K10:</b> Стена в грунте + перекрытия (Top-Down)  | 8                                      | 8                        | 8  | 5   | 6                                       | 8  | 5                                  | 1                    | 7                                    | 7               |



7. *Современные геотехнологии при подземном строительстве в исторической части Санкт-Петербурга*/ А.И. Осокин, А.Б. Серебрякова, Т.Н. Шахтарина, Э.Штоцер, А.Доблер// *Геотехника: актуальные теоретические и практические проблемы: Межвузовск. тематич. сб. тр.-СПб: СПбАСУ, 2006 –с. 157–162.*  
 8. *Справочник геотехника. 3-е издат. доп./под общей ред. В.А.Ильичева и Р.А.Мангушева, – М., Изд-во АСВ, – 2023, 1084 с.*  
 9. *Mangushev R, Osokin A. The experience of the Underground Construction for the complex of Buildings on a soft soil in the Center of St. Petersburg//International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 16(3), 2020 – pp. 47–53 DOI:10.22337/2587-9618-2020-16-3-47-53*  
 10. *Mangushev R, Osokin AI, Sotnikov S. Modern technologies of foundation building in the condi-*

*tions of weak soil of St. Petersburg//E3S Web of Conferences 164, 02018 (2020) TPACEE– 2019* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016402018-13p>.

Для связи с авторами

Мангушев Рашид Абдулович  
ramangushev@yandex.ru  
Осокин Анатолий Иванович  
geostroy-osokin@mail.ru  
Дьяконов Иван Павлович  
idjkanv@yandex.ru  
Калач Филипп Николаевич  
fkalach@yandex.ru



конструктивных и удерживающих систем, что отражено в табл. 2.

Полученные результаты позволили распределить рейтинговые оценки по различным технологическим системам ограждения котлована в сочетании с удерживающими системами. Наиболее высокие оценки получили удерживающие системы, в основе конструктивного решения ограждения которых принята конструкция «стена в грунте», среди которых конструкторско-технологическое решение, сочетающее конструкцию «стена в грунте» и грунтовые анкера, конструкция «стена в грунте» в сочетании с системой Top-Down и конструкторско-технологическое решение конструкции «стена в грунте» с распорной металлической конструкцией.

Ключевые слова

Геотехническое обоснование, сохранение зданий исторической застройки, мероприятия по защите зданий окружающей застройки, котлованы, компенсационное инъекционное закрепление слабых грунтов.

*Geotechnical justification, preservation of buildings of historical development, measures to protect buildings of surrounding development, excavation pits, compensatory injection of soft soils.*

Список литературы

1. *Мангушев Р.А., Осокин А.И., Сотников С.Н. Геотехника Санкт-Петербурга. Опыт строительства на слабых грунтах: Монография – М.: Изд-во АСВ, 2018. – 386 с.*  
 2. *Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне подземного строительства. – М.: Изд-во АСВ, 2017. – 168 с.*  
 3. *Мангушев Р.А. и др. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах /Р.А.Мангушев, Н.С.Никифорова, В.С.Конюшков, А.И.Осокин, Д.А.Сапин. Учебное пособие – 2013, – М., Изд-во АСВ, 256 с.*  
 4. *Мангушев Р.А., Осокин А.И., Левинская П.Г. Перспективы устройства подземных паркингов в условиях стесненной застройки исторического центра Санкт-Петербурга// Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Жилищное строительство.» № 4, М., 2019 – С. 3–18.*  
 5. *Опыт строительства здания с подземным гаражом в песчаных водонасыщенных грунтах вблизи аварийного здания в Санкт-Петербурге/А.А.Галиопа, В.Н.Бронин, С.Н.Сотников, А.М.Рукавицов, Г.В.Левинтов, А.И.Осокин: Труды VI Международной конференции по проблемам фундаментостроения. Т.IV – М. – Пермь: Изд-во Пермского гос. техн. университета, С. 31–34.*  
 6. *Татаринов С.В., Осокин А.И., Денисова О.О. Система геотехнического мониторинга как средство обеспечения безопасности существующих зданий окружающей застройки // Вопросы проектирования и устройства надземных и подземных конструкций зданий и сооружений. Межвузовский тематич. сб. тр., – СПбАСУ, СПб., 2018 – с. 195–205.*

# РАСЧЁТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ В КОМБИНИРОВАННОМ ОГРАЖДЕНИИ КОТЛОВАНА

## COMPUTATIONAL JUSTIFICATION OF THE USE OF ANCHOR SYSTEMS IN THE COMBINED EXCAVATION ENCLOSURE

Д. С. Конюхов, д. т. н., АО «Мосинжпроект»  
И. Н. Хохлов, к. т. н., ООО «Институт «Мосинжпроект»  
С. А. Казаченко, МГСУ

D. S. Konyukhov, Doctor of Technical Sciences, Mosinzhproekt JSC  
I. N. Khokhlov, Ph.D., Mosinzhproekt Institute  
S. A. Kazachenko, MGSU

При возведении подземных сооружений немаловажным является срок производства работ, а также отсутствие стесненных условий для их выполнения. Применение анкерного крепления котлована открытого способа работ позволяет максимально освободить рабочее пространство. Наряду с традиционными прядевыми грунтовыми анкерами возможно применение буровых анкеров, что значительно ускоряет производство работ по креплению котлована. В статье приводится пример применения таких анкерных систем с результатами испытаний, даются рекомендации по расчетному обоснованию крепления и забирки котлована из ГЦС.

*When constructing underground structures, the timing of the work is important, as well as the absence of cramped conditions for its implementation. The use of anchored excavation method allows to free up the working space as much as possible. Along with traditional ground anchors, it is possible to use anchor piles, which significantly speeds up the work on retaining wall construction. The article provides an example of the use of such anchor systems with test results, and provides recommendations for stress and deformation analysis and for the design of jet-grout piles.*

Рассматривается ограждение котлована в следующем примере: сваи из труб диаметром 325×8 мм с шагом 0,8 м длиной 12 м; забирка из бурокапельных ГЦС диаметром 800 мм длиной 8,5 м; геологический разрез представлен толщей насыпных грунтов, суглинками тугопластичными и водонасыщенными песками средней крупности. Глубина котлована до 8,5 м. Схемы ограждения и крепления котлована представлены на рис. 1 и 2.

Буровые грунтовые анкеры из ТВШ имеют широкую область применения: укрепление откосов и горных массивов, насыпей дорож-

ных путей, укрепление шпунтовых и бетонных стен котлованов, подземных гаражей, устьев рек, опор мачт линий электропередач и телефонных сетей, при реконструкции и ремонте зданий и сооружений. Схема анкера приведена на рис. 3.

Устройство анкеров из ТВШ включает в себя следующие технологические операции: первоначально производится последовательное забуривание в грунт под проектным углом анкерных штанг; оснащенных буровой коронкой; одновременно с забуриванием, через полость анкерных штанг и выпускные отверстия буровой

коронки под давлением до 2 МПа, производится подача промывочного цементного раствора.

Буровые грунтовые анкеры могут применяться в тех же условиях, что и традиционные прядевые анкеры, однако они имеют ряд преимуществ:

- производительность в 2–3 раза выше по сравнению с традиционными системами;
- цементный раствор промывает и полностью заполняет буровую скважину, повышая таким образом соединение с грунтом;
- отсутствует необходимость в использовании обсадной трубы в неустойчивом грунте;

Рис. 1. Схема устройства ограждения котлована

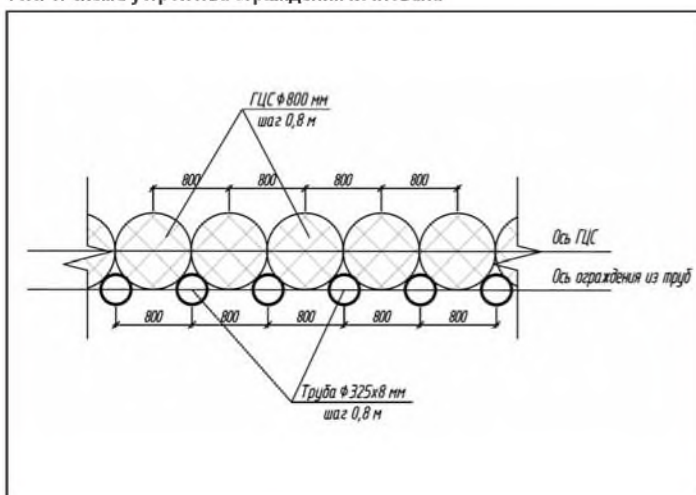


Рис. 2. Разрез по котловану

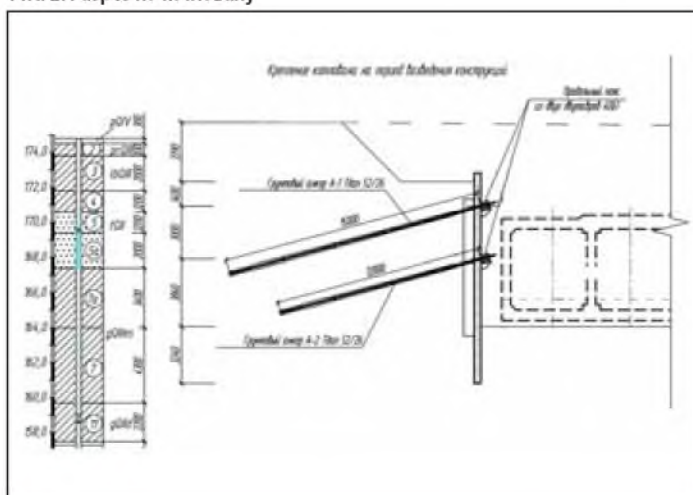




Рис. 3. Схема анкера из ТВШ

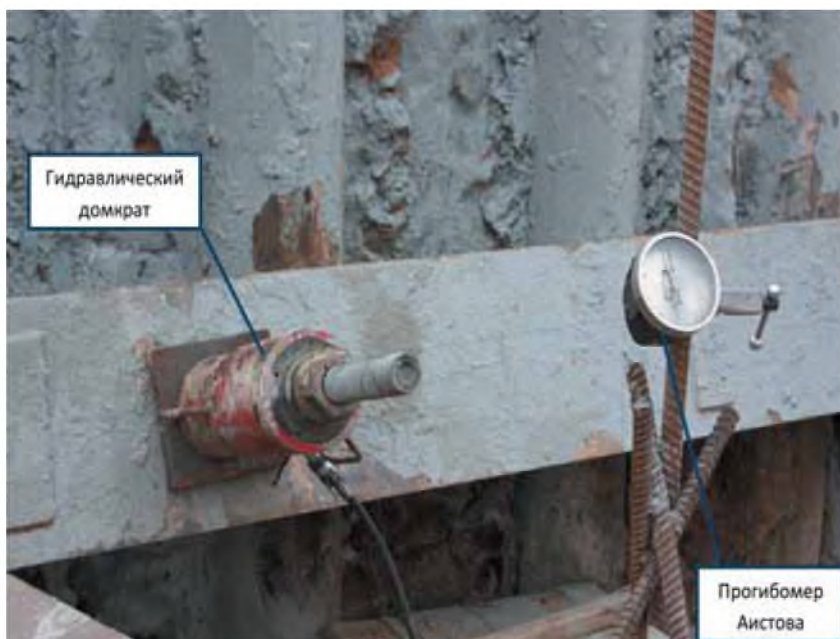


Рис. 4. Процесс испытания анкеров

- трубчатые винтовые штанги изготавливаются из высококачественной мелкозернистой стали с высокой ударной вязкостью и большой пластичностью;
- цементное тело обеспечивает простую и постоянную защиту от коррозии;
- отсутствует необходимость преднапряжения анкерных свай благодаря малым эластичным и пластичным деформациям, как за счет надежного сцепления по боковой поверхности грунта, так и за счет сравнительно высокой жесткости буринъекционных стержней;
- возможность наращивания свай на стройплощадке с помощью дополнительных муфт и штанг в случае выявления новых геологических данных.

Область применения и правила проектирования анкеров из ТВШ регламентируются СТО-023-2007 «Применение грунтовых анкеров и свай с тягой из трубчатых винтовых штанг «Титан». Однако в инженерной практике повсеместно расчет производится с помощью различных вычислительных комплексов, например Z-Soil, Plaxis, либо более узконаправленных, например, Wall-3. При этом, согласно СТО, натяжение буровых анкеров не производится, либо производится на величину, не превышающую 10 % предела текучести штанги, что при заложении в расчетные комплексы дает заниженные значения расчетных усилий в анкерах.

В табл. приводится сравнение расчетов по указанным методикам и в программе Wall-3, а также результаты приемочных испытаний выполненного крепления из анкеров длиной 15 м с диаметром коронки 115 мм. На рис. 4 показана схема испытания анкеров.

Одним из важных результатов расчета является определение параметров инъекции при выполнении заборки из грунтоцементных свай, таких как прочность массива и, следовательно, расход цемента на 1 м<sup>3</sup> массива, который обычно назначается в соответствии с номограммой, приведенной на рис. 5. Для подтверждения полученных выводов был произведен отбор образцов-кернов, выбуренных на стройплощадке из свай ПЦС, выполненных с проектной прочностью 4,5 МПа, и их испытания в лаборатории. Согласно полученным результатам пять из девяти образцов имели прочность от 1,16 до 2,23 МПа, остальные – от 3,48 до 4,39 МПа. Для обеспечения проектной прочности, надежности и долговечности конструкций, обоснованным является расход цемента 1030–1050 кг/м<sup>3</sup>, что в пересчете на сваю диаметром 800 мм составляет 515–525 кг/п. м сваи.

Произведенные расчеты и испытания позволяют сделать следующие выводы.

Комбинированное ограждение котлованов с забиркой из ПЦС со свойствами противодиффузионной завесы с использованием буровых анкеров в качестве крепления

является надежной конструкцией, совмещающей в себе быстроту устройства, удобство возведения постоянных конструкций, менее материалоемко по сравнению со «стеной в грунте» с креплением расстрелами из труб.

При расчете в программных комплексах крепления из буровых анкеров для получения адекватных результатов расчетных усилий необходимо закладывать усилие натяжения не менее 90–95 % от несущей способности по грунту, чтобы не производить натяжение анкеров на стройплощадке.

Расход цемента при устройстве ПЦС в качестве забирки со свойствами противодиффузионной завесы необходимо корректировать в зависимости от результатов испытаний контрольных свай.

**Ключевые слова**

Геотехнические изыскания, котлован, грунтовые анкера, испытания, грунтоцементные сваи. *Geotechnical surveys, foundation pit, ground anchor, test, grouting piles.*

**Для связи с авторами**

Конюхов Дмитрий Сергеевич  
gidrotechnik@inbox.ru  
Хохлов Иван Николаевич  
inh.2017@yandex.ru  
Казаченко Сергей Андреевич  
kazachenko.sa@yandex.ru

Таблица

Результаты определения несущей способности бурового анкера по грунту

| Метод определения         | Несущая способность бурового анкера по грунту, кН |
|---------------------------|---|
| По СТО-023-2007           | 758,7   |
| По расчету в Wall-3       | 885,7   |
| По результатам испытаний* | >570  |

\*Максимальная приложенная нагрузка в ходе испытаний равнялась 57 тс, при этом коэффициент ползучести  $K_s = 0,03$  мм, что намного меньше допустимого значения  $K_s = 2$  мм, и свидетельствует о значительном запасе несущей способности

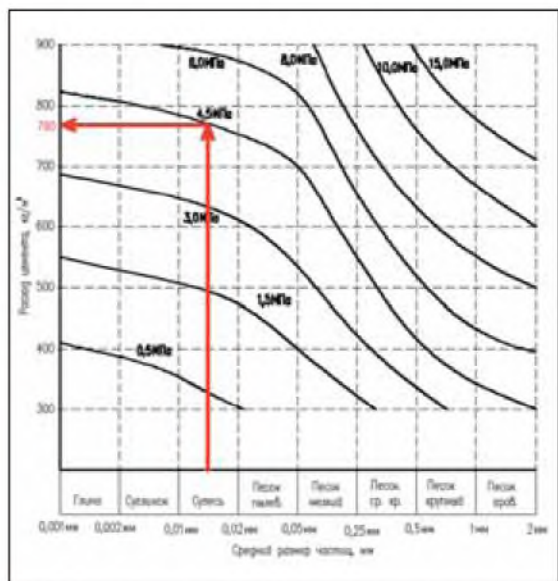


Рис. 5. Номограмма для определения расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> свай в зависимости от прочности массива и типа грунтовых условий



# КЕРАКСКИЙ ТОННЕЛЬ – ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ НА КЛЮЧЕВОМ ОБЪЕКТЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОАО «РЖД»

## THE KERAK TUNNEL – THE FINAL STAGE OF CONSTRUCTION AND INSTALLATION WORK AT A KEY INFRASTRUCTURE FACILITY OF RUSSIAN RAILWAYS

А. А. Перегудов, С. С. Батиенко, Д. Ю. Лаппи, ООО «СпецСитиСтрой»

А. Р. Попонин, Тоннельная ассоциация России

A. A. Peregudov, S. S. Batienko, D. Y. Lappi, SpetsCityStroy

A. R. Poponin, Tunnel Association of Russia



Рис. 1. Новый Керакский тоннель

В рамках программы по комплексной модернизации инфраструктуры ОАО «РЖД», продолжается строительство нового и реконструкция старого двухпутного Керакского тоннеля в Амурской области.

ООО «СпецСитиСтрой», как новый игрок в тоннелестроении на территории РФ и производитель строительно-монтажных работ на данном объекте, подготовило материал о развитии строительства Керакского тоннеля и состоянии этого строящегося объекта на сегодняшний день.

*As part of the program for the comprehensive modernization of the infrastructure of Russian Railways, the construction of a new and reconstruction of the old double-track Kerak tunnel in the Amur region continues.*

*SpetsCityStroy, as a new player in tunnel construction in the Russian Federation and a manufacturer of construction and installation works at this site, has prepared material on the development of the construction of the Kerak tunnel and the state of this facility under construction today.*

С момента публикации последней статьи о Керакском тоннеле (рис. 1 и 2) в журнале «Метро и тоннели» [1] Тоннельной ассоциации России прошел ровно год. За этот период компанией ООО «СпецСитиСтрой» был сделан огромный шаг к выходу на завершающий этап строительно-монтажных работ. Было закончено бетонирование постоянной обделки тоннеля с помощью передвижной механизированной опалубки и выполнена укладка пути на полушпалках ЛУТ.

В связи с серьезным опережением графика строительства нового тоннеля совместно с руководством Забайкальской железной дороги было принято решение о переносе запуска нового тоннеля с 2024 г. на 2023 г.

При проходке тоннеля с западного портала специалисты столкнулись со сложными горно-геологическими условиями слагающего массива (тектонические глины, углистые алевропесчаники, породы сильно трещиноватые, рассланцованные, зоны интенсивного дроб-

ления). На протяжении двух месяцев проходку вели практически в ручном режиме, пока её не пришлось остановить полностью во избежание вывалов. Было принято важнейшее решение – полная остановка проходки для «защивки» забоя, обруивания внеочередного экрана из труб. Таким образом опасный участок длиной около 90 м был пройден калоттой.

При проходке штроссой в этом проблемном месте из-за увеличенного сечения двухпутного тоннеля, нагрузка на временную

крепькратно возросла, что привело к появлению горизонтальных и вертикальных деформаций. Для исключения возможной деформации оперативно были установлены горизонтальные и вертикальные расстрелы, которые затем объединили в пакеты. Именно благодаря этим техническим решениям удалось стабилизировать массив и исключить возможность нарастания возможных деформаций.

Но перед строителями встала новая задача – как пройти проблемное место постоянной обделкой? Ведь перед тем, как выставить опалубку и принять бетон, необходимо демонтировать расстрелы, подготовить поверхность, установить гидроизоляцию, смонтировать армокаркас (4 т на 1 пог. м), выставить опалубку, и только после этого уложить бетон постоянной конструкции. По расчету проблемный участок должен был устоять без расстрелов и вспомогательных конструкций 21 день.

Для выполнения такой нестандартной задачи было принято решение использовать суровый климат севера Амурской области. Шлюзовую камеру западного портала перенесли вглубь тоннеля на 120 м, благодаря чему проблемный участок с расстрелами оказался за герметичной перегородкой – это позволило в зимний период производить работы по укладке бетона в постоянную обделку на большей части тоннеля (рис. 3), и в то же время путем непрерывной подачи холодного воздуха с поверхности удалось проморозить проблемный участок. Подача холодного воздуха в шлюзовую камеру осуществлялась ГВУ Западного портала в течение двух с половиной месяцев (температура по Сковородинскому району в эти периоды составляет от минус 35–45 градусов до минус 53). После проморозки шлюзовую камеру вернули на место – к порталу, а слой промороженного грунта достигал полутора метров. Это позволило демонтировать расстрелы и забетонировать три заходки постоянной обделки, попавших на участок гео-



Рис. 2. Портал Нового Керакского тоннеля

логического разлома. Деформации на промороженных участках полностью отсутствовали и при ведении работ, и после снятия опалубки постоянной обделки. Конечно, в связи с данной процедурой было потеряно драгоценное время – около двух-трех месяцев, но главная задача была выполнена.

Также нестандартно был решен вопрос доставки плетей длиной 800 м в тоннель для установки и бетонирования путей на виброгасящих полушпалках LVT. К тоннелю на данном этапе строительства не было железнодорожных подходов. Для выполнения этой задачи был привлечен ДРП Забайкальской железной дороги, совместно с ними в короткие сроки был уложен 1 км временного пути от ст. Ульручи до Восточного портала нового тоннеля (рис. 4). Временный путь для минимизации затрат и времени был вписан в существующий рельеф с минимально возможными радиусами поворотов в плане и профиле с учетом соблюдения габарита до действующих опор и существующих коммуникаций. После доставки плетей временный путь был оперативно демонтирован.

После доставки плетей был выполнен монтаж и бетонирование путей с применением железнодорожного пути пониженной вибрации LVT (Low Vibration Track) (рис. 5 и 6). Технология LVT в железнодорожных тоннелях впервые была апробирована компанией ООО «СпецСитиСтрой» в г. Сочи в рамках реализации проекта по модернизации железнодорожного пути в тоннелях № 6 и 7 Северо-Кавказской железной дороги.

Данная конструкция верхнего строения пути имеет следующие преимущества.

1. Существенное понижение уровня вибрации и шума при проходе подвижного состава. С понижением уровня вибрации, передаваемого на бетон основания, снижается уровень динамических нагрузок на эксплуатируемую конструкцию верхнего строения пути, что в свою очередь значительно повышает степень износостойкости и эксплуатационной надёжности как конструкции в целом, так и её отдельных элементов.

2. Конструкция верхнего строения LVT имеет высокую вариативность и подходит для применения с различными типами же-

Рис. 3. Работы на замороженном участке строительства

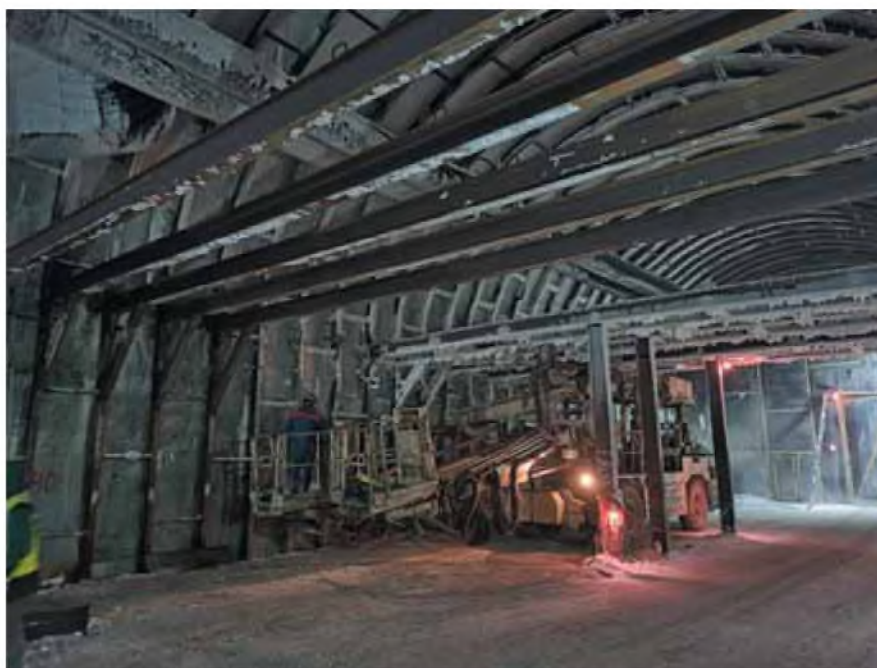
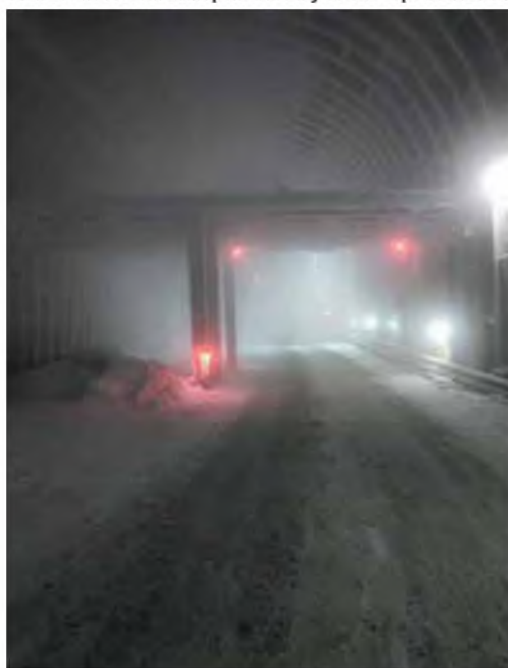






Рис. 4. Железнодорожные пути, построенные по технологии LVT

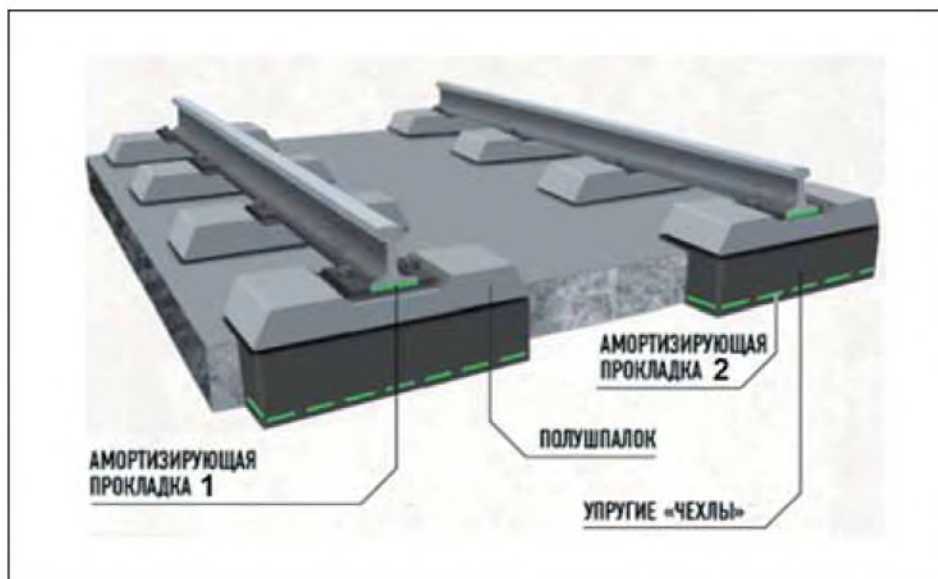


Рис. 5. Схема конструкции железнодорожных путей по технологии LVT



Рис. 6. Готовый железнодорожный путь в новом Керакском тоннеле

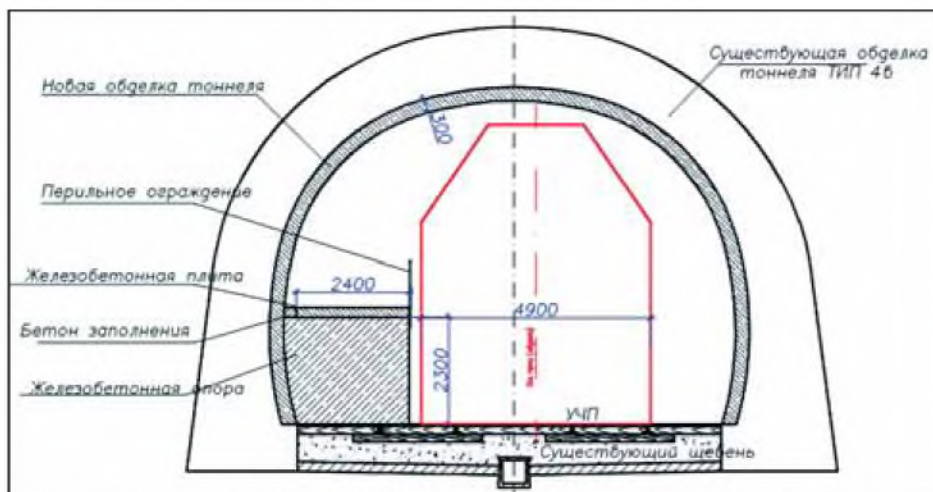


Рис. 7. Схема реконструкции старого Керакского тоннеля (разрез по профилю трассы)

лезнодорожных креплений, что позволяет использовать данную технологию на различных участках разветвленной сети железных дорог России с сохранением заданной степени унификации при поставке, замене, ремонте комплектующих верхнего строения пути.

3. Высокая степень ремонтпригодности, обусловленная раздельностью компонентов верхнего строения пути, а также их универсальностью и небольшими габаритами, позволяют осуществлять локальный ремонт, замену компонентов (полушпал, креплений) вручную без применения тяжелой погрузо-разгрузочной техники. Это позволяет значительно сократить время производство работ,

а значит и потребность в организации продолжительных технологических окон.

4. Высокие темпы производства работ по устройству верхнего строения пути – до 200 пог. м в смену. Сниженная трудоёмкость, а также высокая степень механизации и автоматизации процессов при монтаже позволяют в значительной степени сократить затраты и сроки производства работ.

5. Высокая степень точности соблюдения заданных параметров (планового и высотного положения) рельса при монтаже, а также сохранение заданных параметров в процессе эксплуатации, делает возможным

эксплуатацию пути данной конструкции для организации высокоскоростного движения поездов.

В связи с опережением графика совместно с руководством Забайкальской железной дороги было принято решение о переключении движения со старого на новый тоннель (технический пуск) в декабре 2023 г., а не в июле 2024 г. как это было запланировано ранее.

После переключения движения на новый тоннель, будут выполнены работы по приведению старого Керакского тоннеля в «дренажное сооружение». Также ООО ПИИ «Бамтоннельпроект» был проработан вариант использования старого тоннеля для пропуска поездов в одном направлении (рис. 7). Габарит старого тоннеля позволит пропускать железнодорожные составы в одном направлении с использованием контактной сети.

#### Список литературы

1. Перегудов А. А., Батиенко С. С., Лаппи Д. Ю. Строительство нового Керакского тоннеля на Забайкальской железной дороге // Метро и тоннели. – 2022. – № 4. – С. 20–23.

#### Для связи с авторами

Перегудов Андрей Анатольевич  
peregudov@speccitystroy.ru  
Батиенко Сергей Сергеевич  
batienko.ss@speccitystroy.ru  
Лаппи Диана Юрьевна  
lappi.du@speccitystroy.ru  
Попонин Артём Романович  
office.rus-tar@yandex.ru





### Патриарху инженерной геологии в тоннелестроении Евгению Меркурьевичу Пашкину исполняется 90 лет!

Е. М. Пашкин родился 30 декабря 1933 г. в Москве. После окончания Московского геологоразведочного института (МГРИ) в 1957 г., начал работать в институте «Метрогипротранс», где принимал участие в инженерных изысканиях ряда трасс Московского метрополитена. Знаковым событием периода, положившего начало его научной деятельности по развитию методологии инженерно-геологических исследований в тоннелестроении, стало участие в исследовании трассы коллектора р. Неглинка через Китай-город, где Евгений Меркурьевич впервые столкнулся с задачами сохранения памятников архитектуры, попавшими в зону подземного строительства. Именно в этот период им закладывается новое научное направление инженерной геологии – инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры, которое впоследствии заняло значительное место в творческой жизни Евгения Меркурьевича, одного из руководителей Всесоюзного общества охраны памятников истории и культуры (ВООПИК), в котором за активную и плодотворную работу

в 1994 г. он удостоивается звания «Заслуженный деятель искусств Российской Федерации».

В 1961 г. Е. М. Пашкин переходит на работу в институт «Гидроспецпроект», где руководит инженерно-геологическими изысканиями при проектировании и строительстве подземных сооружений Нурекской, Токтогульской, Рогунской и многих других гидроэлектростанций страны, совмещая работу с преподаванием в МГРИ.

В 1975 г. Евгений Меркурьевич окончательно перешел на работу в МГРИ, где успешно защитил докторскую диссертацию, в которой сформулировал теоретические положения прогнозирования устойчивости пород в подземных выработках и разработал способы управления устойчивостью с помощью адаптивных функций сферы взаимодействия. За многие годы преподавательской работы Евгений Меркурьевич подготовил 18 кандидатов наук, выезжал для консультаций по проектированию и строительству тоннелей в Перу, Иран и на Кипр. За успешную педагогическую деятельность в 1998 г. он был удостоен звания «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации».

Поэтому не случайно Евгений Меркурьевич до настоящего времени привлекается к работе экспертных комиссий и входит в состав научно-методического совета Министерства культуры РФ по вопросам реставрации памятников архитектуры, истории и культуры.

В 2005 г. им выпущен учебник «Инженерная геология (для реставраторов)».

Нам приятно отметить, что Е. М. Пашкин стал одним из первых и активных членов Тоннельной ассоциации России, приняв, в частности, участие в экспертизе уникального Лефортовского тоннеля в Москве, проектов тоннелей Кавказкой перевальной железной дороги, БАМа, метрополитена в Казани, Нижнем Новгороде, предложений по проходке тоннелей под Беринговым проливом, в работе комиссий по приемке отреставрированных и построенных объектов на Манежной площади.

В последние годы вместе с Евгением Меркурьевичем решались задачи по устранению водопроявлений на ряде объектов Люблинско-Дмитровской линии Московского метрополитена.

Е. М. Пашкин – почетный член Тоннельной ассоциации России, до настоящего времени постоянно принимает активное участие во Всероссийских и Международных конференциях, организатором которых выступает Тоннельная ассоциация России, щедро делится своим богатым и неоценимым опытом проведения инженерно-геологических исследований в зоне строительства подземных транспортных сооружений.

***Правление Тоннельной ассоциации России сердечно поздравляет Евгения Меркурьевича со славным юбилеем и искренне желает ему крепкого здоровья, неиссякаемой творческой активности, успехов в научной, педагогической и общественной деятельности!***

# МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ ЩИТ С ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ КОРПУСОМ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЕЙ

## MECHANIZED SHIELD WITH TELESCOPIC CASE FOR CONTINUOUS TUNNEL DIGING

Л. В. Маковский, к. т. н., профессор, МАДИ, кафедра мостов, тоннелей и строительных конструкций

В. В. Кравченко, к. т. н., доцент, МАДИ, кафедра мостов, тоннелей и строительных конструкций

L. V. Makovsky, Prof. PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MAD I

V. V. Kravchenko, PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MAD I

Рассмотрены современное состояние и перспективы развития щитовой техники в тоннелестроении. Основное внимание уделено разработанному германской фирмой «Херренкнехт» новому типу механизированного щита с телескопическим корпусом, позволяющему вести непрерывную проходку тоннелей в мягких грунтах. Приведены конструктивные особенности щита, состоящего из двух расположенных внахлест оболочек, под защитой которых ведется разработка грунта и возведение обделки тоннеля. Рабочий орган щита роторного типа оснащен режущими инструментами для разработки грунта, ковшовыми устройствами и транспортером для его удаления. Приведены основные достоинства механизированного щита с телескопическим корпусом, среди которых высокие темпы, повышение производительности и снижение стоимости проходки.

Новая технология уже применяется на строительстве тоннеля в Великобритании и намечена к использованию в Доминиканской Республике.

Отмечается, что за создание механизированного щита с телескопическим корпусом фирма «Херренкнехт» признана победителем конкурса на Международной выставке «Bauma 2022».

*The current state and prospects for the development of panel technology in tunnel construction are considered. The main attention is paid to a new type of mechanized shield with a telescopic body, developed by the German company Herrenknecht, which allows continuous tunneling in soft soils. The design features of the shield, consisting of two overlapping shells, under the protection of which the excavation of the soil and the construction of the tunnel lining are carried out, are given. The working body of the rotor-type shield is equipped with cutting tools for soil development, bucket devices and a conveyor for soil removal.*

*The main advantages of a mechanized shield with a telescopic body are given, including high speeds, increased productivity and reduced penetration costs.*

*The new technology is already being used on a tunnel in the UK and is slated for use in the Dominican Republic.*

*It is noted that for the creation of a mechanized shield with a telescopic body, the Herrenknecht company was recognized as the winner of the competition at the International Exhibition «Bauma 2022».*

**В** настоящее время в мире эксплуатируются тысячи транспортных тоннелей и строятся новые, среди которых ряд уникальных длиной до 100 км и более [1, 2].

В большинстве случаев проходку протяженных тоннелей в мягких грунтах ведут щитовым способом. На вооружении тоннелестроителей большое количество различного типа щитовых агрегатов и тоннелепроходческих комплексов (ТПМК), рассчитанных на проходку тоннелей диаметром от 5–6 до 12–15 м и более.

Такие комплексы оснащены высокопроизводительными средствами погрузки и удаления разработанного грунта, тьюбинго-блокоукладчиками и другим и управляются бортовыми компьютерами.

В зависимости от конкретных инженерно-геологических условий скорости щитовой проходки тоннелей диаметром 5–6 м

достигают около 1000 м/мес., а диаметром 12–15 м – около 500 м/мес.

В последние десятилетия достигнут значительный прогресс в области щитовой проходки тоннелей, о чем свидетельствует опыт строительства ряда крупнейших тоннелей [2, 3], а также исследований путей для снижения сроков строительства тоннелепроходческими комплексами [4, 5].

Дальнейшее развитие щитовой техники для скоростной и безопасной проходки протяженных тоннелей в разнообразных инженерно-геологических условиях во многом связано с применением компьютерных технологий, созданием роботизированных щитовых агрегатов и комплексов.

### Механизированный щит нового поколения

Известная германская фирма «Херренкнехт» создала механизированный щит ново-

го типа для непрерывной проходки тоннелей в мягких неводоносных грунтах (рис. 1). В отличие от традиционных щитов, которые останавливаются на период монтажа обделки, новый щит позволяет вести практически безостановочную проходку, что значительно увеличивает ее скорость [6].

Это достигается за счет телескопического корпуса щита, состоящего из наружной оболочки, внутри которой размещается рабочий орган, и внутренней хвостовой оболочки, под защитой которой монтируется обделка тоннеля. Обе оболочки установлены внахлест и перемещаются поочередно, по мере разработки грунта рабочим органом щита (рис. 2).

Внутренняя оболочка снабжена распорным устройством, при помощи которого упирается в грунт, что позволяет наружной оболочке перемещаться вперед, от-

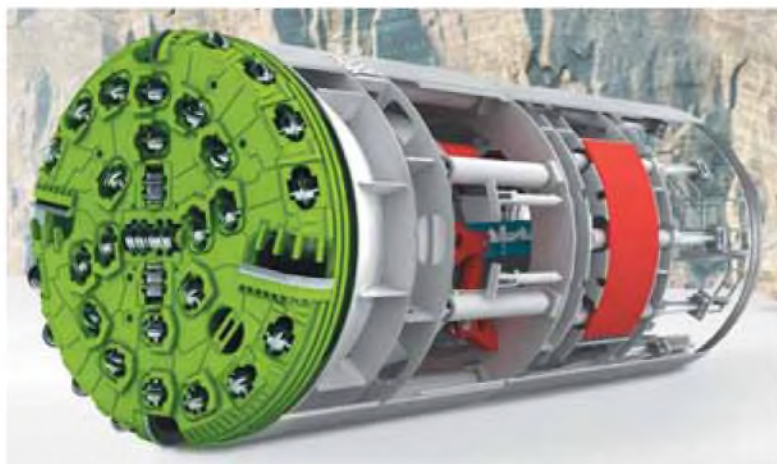


Рис. 1. Общий вид механизированного щита с телескопическим корпусом для непрерывной проходки тоннелей фирмы «Херренкнехт»

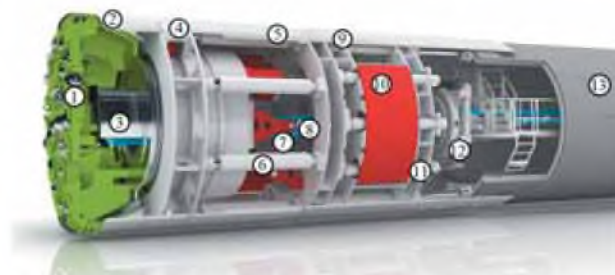


Рис. 2. Схема механизированного щита с телескопическим корпусом: 1 – рабочий орган; 3 – ковшовое кольцо для удаления разработанной породы; 4 – стабилизаторы вибрации; 5 – нахлест наружной 2 и внутренней 9 оболочек; 6 – основные гидроцилиндры продавливания; 7 – антипроворотные цилиндры; 8 – транспортёр для перемещения разработанной породы; 10 – распорки для фиксации ТПМК по бокам; 11 – вспомогательные гидроцилиндры; 12 – передвижной вакуумный манипулятор с дистанционным управлением (эректор); 13 – обделка тоннеля

талкиваясь основными домкратами продавливания от внутренней оболочки. По завершении монтажа очередного кольца обделки распорные устройства освобождаются, и задняя оболочка перемещается вслед за передней при помощи вспомогательных домкратов.

Повторная фиксация внутренней оболочки распорным устройством занимает всего несколько минут, и проходка тоннеля ведется практически непрерывно. Телескопический щит обеспечивает также доступ к стенам тоннеля для выравнивания контура.

Аналогичный принцип положен в основу конструкции ТПМК с рабочим органом роторного действия и телескопическим корпусом, состоящим из двух элементов, перемещающихся попеременно.

При проходке тоннеля ТПМК таким щитом рабочий орган плотно прижимается к забою. Разработанная режущими и скалывающими инструментами порода попадает в ковш на рабочем органе, а затем через породоприемную воронку на транспортёрную ленту и далее в вагонетки.

Для управления работой телескопического механизированного щита создано специальное программное обеспечение, которое с высокой точностью рассчитывает необходимое давление в цилиндрах вспомогательных домкратов, гарантируя заданное направление передвижения ТПМК.

Фирма «Херренкнехт» разработала систему центра тяги (CoT), состоящую из панели дисплея, которая показывает оператору текущее положение центра давления (координаты средневзвешенного давления во вспомогательных домкратах, расположенных по кольцевому периметру внутренней оболочки) для выбора желаемого положения центра тяги. Соответствующее управление вспомогательными домкратами осуществляется алгоритмами.

К основным достоинствам механизированного щита с телескопическим корпусом относятся:

- высокая скорость проходки тоннелей в устойчивых грунтах благодаря непрерывности тоннелирования;

- гибкость технологии, позволяющая вести проходку тоннелей во всех типах устойчивых грунтов;

- повышение производительности труда приблизительно в 1,5 раза;
- снижение стоимости проходки;
- более высокая степень безопасности для обслуживающего персонала.

В настоящее время новая технология щитовой проходки используется на строительстве скоростной железнодорожной линии между Лондоном и Бирмингемом в Великобритании [6].

Применение механизированного щита с телескопическим корпусом предусмотрено в проекте «Паломино» в Доминиканской Республике. Ожидаемые темпы проходки – 250 м в неделю [6].

### Заключение

Создание и внедрение в практику тоннелестроения нового поколения механизированных щитов с телескопическим корпусом является важным этапом в развитии и совершенствовании технологии щитовой проходки.

Непрерывная проходка тоннелей в мягких грунтах обеспечит значительное повышение темпов и снижение сроков строительства горных, подводных и городских транспортных тоннелей диаметром до 15 м.

Механизированные щиты с телескопическим корпусом найдут широкое применение как при строительстве новых, так и при реконструкции давно эксплуатируемых тоннелей.

В этой связи следует отметить, что всемирно известная германская фирма «Херренкнехт» была признана победителем конкурса на Международной выставке машин и оборудования для строительной техники и горной отрасли «Bauma 2022» в номинации «машиностроение» за разработку новой технологии непрерывной проходки тоннелей механизированным щитом с телескопическим корпусом.

Учитывая возрастающие масштабы строительства транспортных тоннелей в нашей стране, применение щитов нового поколения с телескопическим корпусом следует признать целесообразным в мягких неводоносных грунтах.

### Ключевые слова

Механизированный щит, тоннелепроходческий комплекс, телескопический корпус, непрерывная проходка.

*Mechanized shield, tunnel boring complex, telescopic body, continuous tunneling.*

### Список литературы

1. Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. Проектирование автодорожных и городских тоннелей. – М.: КНОРУС, 2022. – 534 с.
2. Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. Строительство городских автотранспортных тоннелей в сложных условиях. – М.: КНОРУС, 2019. – 276 с.
3. Меркин В. Е., Зеэрцалов М. Г., Петрова Е. Н. Подземные сооружения транспортного назначения. – М.: Инфра-Инженерия, 2020. – 432 с.
4. Федунец Б. И., Мазин С. В., Потапов М. А., Бойко Ф. А. Пути снижения сроков строительства московского метрополитена тоннелепроходческими комплексами // Транспортное строительство. – 2015. – № 3. – С. 2–5.
5. Федунец Б. И., Мазин С. В., Потапов М. А., Бойко Ф. А. Пути снижения сроков строительства московского метрополитена тоннелепроходческими комплексами (Окончание) // Транспортное строительство. – 2015. – № 4. – С. 6–8.
6. Интернет-ресурсы:

URL:Режим доступа <https://www.herrenknecht.com/ru/produkte/productdetail/doppelschild-tbm/>, свободный. – (Дата обращения 17.09.2023);

URL:Режим доступа <https://www.directindustry.com.ru/prod/herrenknecht-ag/product-59259-385106.html>, свободный. – (Дата обращения 17.09.2023);

URL:Режим доступа <https://undergroundexpert.info/issledovaniya-i-tehnologii/tehnologii/prokhozheskie-shhity/>, свободный. – (Дата обращения 17.09.2023).

### Для связи с авторами

Маковский Лев Вениаминович  
tunnels@list.ru  
Кравченко Виктор Валерьевич  
609vkv@gmail.com





**Михаилу Григорьевичу Зерцалову 6 ноября 2023 г. исполнилось 85 лет!**

Михаил Григорьевич в 1961 г. окончил Гидротехнический факультет МИСИ им. В. В. Куйбышева и свою трудовую деятельность начал с должности инженера в институте «Гидропроект им. С. Я. Жука» – одной из крупнейших организаций, проектирующих гидроэнергетические и водохозяйственные сооружения. В 1964 г. Михаил Григорьевич поступил в аспирантуру МИСИ, после окончания которой приступил к работе на кафедре Гидротехнических сооружений этого института. В МИСИ он прошёл большой трудовой путь от младшего научного сотрудника до директора института ЭВПС МГСУ. Здесь ярко проявился его талант воспитателя молодого поколения инженеров-строителей, сформировался характер пытливого учёного, исследующего сложные процессы воздействия техногенной деятельности человека на природную среду.

В сферу научных интересов профессора Зерцалова вошло изучение законов механики горных пород и применение их в процессе строительства для решения задач обеспечения прочности и устойчивости инженерных сооружений. Михаил Григорьевич принимал активное участие в научных исследованиях, связанных с комплексным

использованием подземного пространства, взаимодействием крупноподземных выработок (машинные залы ГЭС и гидротехнические тоннели; хранилища радиоактивных отходов, подземные стоянки и т. д.) со скальным массивом. Он активно способствовал развитию и использованию численных методов для решения задач безопасности гидротехнических и подземных сооружений.

В 1971 г. Михаил Григорьевич защитил диссертацию на учёное звание кандидата технических наук, а в 1991 г. – на звание доктора технических наук.

Профессором М. Г. Зерцаловым опубликовано более 150 научных работ, 82 из которых были напечатаны в трудах Международных конгрессов, симпозиумов и конференций. Он автор и соавтор ряда монографий и учебников. Так, в 1999 г. им в соавторстве с профессором И. Г. Ореховым была написана и издана монография «Механика разрушения инженерных сооружений и горных массивов», которая в 2001 г. вышла в издательстве Balkema на английском языке, а в 2013 г. переиздана в издательстве АСВ. В этом же издательстве в 2006 г. вышел в свет написанный проф. М. Г. Зерцаловым первый учебник для строительных вузов «Механика грунтов (введение в механику скальных грунтов)», переработанная версия которого «Геомеханика (введение в механику скальных грунтов)» была издана в 2014 г. М. Г. Зерцалов является также соавтором учебников «Производство гидротехнических работ» (2012 г.), «Использование подземного пространства» (2015 г.), учебного пособия «Введение в механику подземных сооружений» (2015 г.) монографий «Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов» (2011 г.), «Подземные сооружения транспортного назначения» (2020 г.).

Михаилом Григорьевичем всегда уделялось большое внимание совершенствованию учебного процесса, его приближению к потребностям экономической жизни страны. При его активном участии были лицензированы и открыты в институте две новые специальности: «Комплексное использование и охрана водных ресурсов» и «Инженерная защита окружающей среды».

М. Г. Зерцалов является членом Тоннельной ассоциации России и в течение 11 лет входил в состав правления нашей общественной организации. Он участвует в работе двух специализированных советов по защите докторских диссертаций, избран действительным членом двух академий – инженерных и водохозяйственных наук РФ, Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению, Национального комитета и Международного общества по механике горных пород, Американского общества инженеров-строителей и Британского института гражданских инженеров.

За свою многолетнюю плодотворную деятельность в подготовке инженерных и научных кадров, участие в решении важных народно-хозяйственных задач Михаил Григорьевич удостоен званий «Заслуженный работник высшей школы РФ», «Почётный строитель России», «Почетный работник Высшего образования России», «Почетный работник топливно-энергетического комплекса России», «Почетный работник Речфлота России», награждён грамотами Министерства по науке и образованию, а также медалями и грамотами университета.

***Уважаемый Михаил Григорьевич, примите наши сердечные поздравления со славным Юбилеем и пожелание еще многих лет активной деятельности в науке и подготовке специалистов для подземного строительства!***

***Доброго здоровья, счастья и благополучия Вам и Вашим близким!***

***От имени Тоннельной ассоциации России***

***Председатель правления***

***Исполнительный директор***

***К. Н. Матвеев***

***А. Б. Лебедьков***



**8 ноября 2023 г. исполнилось 70 лет члену правления Тоннельной ассоциации России Александру Владимировичу Ершову.**

Диплом инженера путей сообщения-электрика Александр Владимирович Ершов получил в 1979 г., пройдя курс обучения по специальности «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» в Московском институте инженеров железнодорожного транспорта.

После окончания института Александр Владимирович по распределению приступил к работе в Электромеханической службе Московского метрополитена, в функции которой входит обеспечение бесперебойной работы всех инженерных систем и систем безопасности действующего метрополитена. В Московском метрополитене прошло становление Александра Владимировича из молодого специалиста в авторитетнейшего профессионала в области эксплуатации метрополитенов, крупного организатора службы эксплуатации этого одного из самых надёжных, безопасных и комфортабельных видов городского пассажирского транспорта. Здесь он прошёл полный трудовых свершений путь от электромеханика до главного инженера службы, а впоследствии стал главным инженером – первым заместителем начальника метрополитена.

Отличительными качествами Александра Владимировича являются обширные инженерные знания и способность к восприятию современных тенденций развития науки и техники, огромное трудолюбие, высокая ответственность за результативность принимаемых решений, доброжелательность и умение работать с людьми. Он ярко проявил себя как инициатор и активный участник проведения мероприятий, направленных на техническое перевооружение инженерных систем и служб Московского метрополитена. Так, с группой специалистов им была разработана серия огнестойких электрических кабелей с повышенными показателями надёжности и пожарной безопасности. За разработку и освоение промышленного производства этих кабелей авторы были удостоены Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Неоценима роль Александра Владимировича в разработке и реализации Программы развития Московского метрополитена на 2011–2022 гг.

Будучи главным инженером Московского метрополитена и придавая большое значение повышению безопасности пассажироперевозок и эксплуатационной надёжности всех систем метрополитена, Александр Владимирович особое внимание уделяет всестороннему развитию систем диагностики и ремонта многочисленных и протяжённых инженерных коммуникаций, присущих этому виду транспорта, применению средств телемеханики и автоматизации в работе эксплуатационных служб. Гордостью Московского метрополитена является уникальная автоматизированная система оплаты проезда, созданию которой Александр Владимирович уделял большое внимание. Более десяти технических решений, в разработке и реализации которых принимал участие Александр Владимирович, защищены патентами на изобретения.

Участвуя в научных исследованиях и работах, связанных с техническим развитием метрополитена, Александр Владимирович Ершов в 2006 г. защитил диссертацию на учёную степень «кандидат технических наук». Он является академиком Академии электротехнических наук Российской Федерации. Его профессиональная деятельность отмечена государственными наградами «Орден Почёта» и Медаль «В память 850-летия Москвы», почётными званиями «Заслуженный работник транспорта Российской Федерации», «Почётный строитель России», рядом почётных ведомственных знаков, в том числе «Почётный работник Московского метрополитена», «Почётный железнодорожник», «Почётный транспортный строитель» и др. За помощь, оказанную им работникам Казанского метрополитена при пуске в эксплуатацию первой линии метрополитена, ему было присвоено почётное звание «Почётный гость города Казани». Своё 70-летие Александр Владимирович встречает в бодром настроении, является консультантом Управления Дирекции инфраструктуры Московского метрополитена, активно делится своим богатым производственным и жизненным опытом с более молодыми сотрудниками этой организации. Наряду с этим, он с энтузиазмом занимается общественной работой, являясь почётным членом Тоннельной ассоциации России и многие годы входя в состав её правления, активно участвует в мероприятиях, проводимых этой организацией, всемерно способствует повышению эффективности работы Международной ассоциации «Метро», объединяющей на добровольной основе метрополитены стран СНГ.

*Уважаемый Александр Владимирович, от имени президиума, правления и Исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России, многочисленного коллектива метро- и тоннелестроителей нашей страны сердечно поздравляем Вас с 70-летием со дня рождения. Желаем Вам крепкого здоровья и бодрости на долгие-долгие годы, дальнейших творческих успехов в деле технического перевооружения Московского метрополитена и в общественной работе.*

*Председатель правления Тоннельной ассоциации России  
Руководитель Исполнительной дирекции ТАР*

*К. Н. Матвеев  
А. Б. Лебедев*

# МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ 2023»

Д. С. Колюхов, д. т. н., АО «Мосинжпроект»

14–15 ноября 2023 г. на площадке Omega Rooftop в Москве прошла ежегодная Международная научно-техническая конференция «Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели 2023», организованная Тоннельной ассоциацией России при участии АО «Мосинжпроект», АО «Мосметрострой», АО «Ингеоком», ООО «СпецСитиСтрой», ООО «Синерго», ООО «ПолиЭко» и АО «РЖДстрой».

С приветственным словом к участникам конференции обратились: председатель правления ТАР К. Н. Матвеев и заместитель генерального директора АО «Мосметрострой» М. Ю. Беленький.

До начала деловой части конференции руководителем Исполнительной дирекции ТАР А. Б. Лебедев и заместителем руководителя С. В. Мазенин вручили дипломы Тоннельной ассоциации России победителям конкурса студенческих работ.

Модераторами первого дня конференции выступили доктора техн. наук, профессора И. Я. Дорман и В. Е. Меркин.

Первый день работы начался с обсуждения применения фибробетонов при освоении подземного пространства. Его открыл доклад канд. техн. наук В. Е. Русанова (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»), рассказавшего об эффективности применения конструкций из фибробетона в подземном строительстве. По мнению докладчика, эффективность применения фибробетона в конструкциях, работающих в условиях внецентренного сжатия, достигается благодаря его возможности воспринимать нагрузку после формирования трещин, при этом предел растяжимости фибробетона может превышать предел сжимаемости. Слабые темпы внедрения фибробетона в подземном строительстве РФ обусловлены малым количеством реализованных проектов, низкой осведомленностью проектировщиков и контролирующих органов о преимуществах и условиях эффективного использования фибробетона, отсутствием оснащённости заводов по производству железобетонных изделий и лабораторий контроля качества фибробетона.

В мировой практике исследования фибробетона совершенствование нормативной базы и развитие технологий применения фибробетонных конструкций происходят в следующих направлениях: развитие методов испытаний образцов фибробетона, создание облегченных конструкций обделок, сокращение или исключение армирования, применение высокопрочного и сверхвысокопрочного фибробетона, исследование конструкций из фибробетона, работающих на растяжение, изгиб и

Таблица 1  
Зарубежный опыт применения фибробетонов при строительстве коммунальных тоннелей

| Проект   | Год  | Страна       | Назначение      | DN, м | h, м | Тип ФБ |
|--|------|--------------|-----------------|-------|------|--------|
| Faiiaco  | 1989 | Италия       | Водоснабжение   | 3.40  | 0.20 | СФБ    |
| Heathrow Baggage Handling Tunnel                             | 1993 | Англия       | Сервис          | 4.80  | 0.15 | СФБ    |
| Lesotho Highlands  | 1995 | Юж. Африка   | Водоснабжение   | 5.10  | 0.30 | СФБ    |
| Hachinger  | 1998 | Германия     | Водоснабжение   | 2.56  | 0.18 | СФБ    |
| Ecuador's Trasvases Manabi (La Esperanza)                    | 2001 | Эквадор      | Водоснабжение   | 3.90  | 0.20 | СФБ    |
| Sorenberg  | 2002 | Швейцария    | Газопровод      | 4.30  | 0.25 | СФБ    |
| Canal de Navarra   | 2003 | Испания      | Водоснабжение   | 5.90  | 0.25 | –      |
| San Vicente  | 2006 | США          | Водоснабжение   | 3.56  | 0.18 | СФБ    |
| Heathrow – SWOT  | 2006 | Англия       | Водоснабжение   | 3.30  | 0.20 | СФБ    |
| The Hofoldingen Stollen                                      | 2007 | Германия     | Водоснабжение   | 3.26  | 0.18 | СФБ    |
| Gold Coast Desalination Plant                                | 2008 | Австралия    | Водоснабжение   | 3.80  | 0.20 | СФБ    |
| Big Walnut Sewer   | 2008 | США          | Канализация     | 4.16  | 0.23 | СФБ+С  |
| Hobson Bay   | 2009 | Н. Зеландия  | Канализация     | 4.20  | 0.25 | СФБ    |
| Copenhagen District Heating Tunnel (Heating Tunnel Aniager ) | 2009 | Дания        | Водоснабжение   | 4.80  | 0.30 | СФБ    |
| Harefield Gas Tunnel   | 2009 | Англия       | Газопровод      | 2.95  | 0.18 | ПФБ    |
| Fontanta-Trinitat Interconnection Tunnel                     | 2010 | Испания      | Водоснабжение   | 5.60  | 0.20 | СФБ+С  |
| Ems-Dollard Crossing   | 2010 | Герм. - Ннд. | Газопровод      | 3.50  | 0.25 | –      |
| City West Cable Tunnel (CWCT)                                | 2010 | Австралия    | Энергоснабжение | 2.90  | 0.20 | –      |
| Adelaide Desalination Plant                                  | 2010 | Австралия    | Водоснабжение   | 3.20  | 0.20 | СФБ    |
| Brightwater East   | 2011 | США          | Канализация     | 5.62  | 0.26 | СФБ    |
| Brightwater Central  | 2011 | США          | Канализация     | 5.36  | 0.33 | СФБ    |
| Brightwater West   | 2011 | США          | Канализация     | 4.22  | 0.26 | СФБ    |
| East side CSO Tunnel   | 2011 | США          | Канализация     | 7.42  | 0.36 | СФБ    |
| Izumi-Otsu   | 2011 | Япония       | Водоснабжение   | 2.06  | 0.13 | СФБ+С  |
| Victorian Desalination Plant                                 | 2011 | Австралия    | Водоснабжение   | 4.46  | 0.23 | –      |
| Monte Lirio Tunnel   | 2012 | Панама       | Водоснабжение   | 3.70  | 0.25 | СФБ    |
| Pando  | 2012 | Панама       | Водоснабжение   | 3.50  | 0.25 | СФБ    |
| Midosuji Utility   | 2012 | Япония       | Сервис          | 5.40  | 0.15 | СФБ+С  |
| El Alto  | 2013 | Панама       | Водоснабжение   | 6.50  | 0.35 | СФБ    |
| Asada Trunk Line   | 2013 | Япония       | Канализация     | 5.00  | 0.20 | СФБ+С  |
| Oi-Ariake Cable  | 2013 | Япония       | Энергоснабжение | 4.40  | 0.20 | СФБ+С  |
| STEP Abu Dhabi Lot T-02                                      | 2014 | ОАЭ          | Канализация     | 6.86  | 0.28 | СФБ+С  |
| Abu Hamour   | 2016 | Катар        | Дренаж          | 4.20  | 0.25 | СФБ    |
| Abatemarco   | –    | Италия       | Водоснабжение   | 3.90  | 0.20 | СФБ    |
| Public Sewage  | –    | Япония       | Канализация     | 5.96  | 0.18 | СФБ+С  |
| Lee Tunnel Sewer   | 2016 | Англия       | Канализация     | 7.90  | 0.35 | –      |
| General Interceptor Collector Santona-Laredo-Colindres       | 2016 | Испания      | Канализация     | 4.00  | 0.25 | ПФБ+С  |
| Blacksnake Creek stormwater runoff tunnel                    | 2019 | США          | Канализация     | 3.12  | 0.19 | ПФБ    |

кручение, совершенствование фибрового волокна (табл. 1).

Тему применения сверхпрочного фибробетона продолжил канд. физ.-мат. наук

А. Н. Ваулин (Компания «Цементум»), рассказавший об особенностях физико-механических характеристик сверхпрочных фибробетонов (рис. 1), областях их применения в строительстве и архитектуре, привел примеры реализованных проектов в России и за рубежом, описал перспективы развития этого направления.

Следующая секция докладов, посвященных ремонтно-восстановительным работам на эксплуатируемых подземных сооружениях, открылась сообщением доктора техн. наук Д. С. Конюхова (АО «Мосинжпроект»), посвященного проблемам ремонта и реконструкции подземных сооружений с длительным сроком эксплуатации. В настоящее время на территории РФ построены тысячи километров подземных сооружений, возраст которых превышает 50 лет. Их основные дефекты включают в себя: трещины в железобетонных и металлических элементах, нарушение герметичности стыков между ними, сопровождающееся смещением элементов в пространстве; сколы чугуна и бетона с разрушением защитного слоя бетона, обнажением и коррозией арматуры; водопроявления, сопровождающееся выщелачиванием бетона, вспучиванием и коррозией металлоизоляции, нарушениями контакта «обделка-грунт» и карстово-суффозионными процессами в породном массиве; изменения геометрической формы тоннелей; вывалы обделки и породы. Анализ материалов обследований технического состояния подземных сооружений свидетельствует, что категория их технического состояния в первую очередь определяется возрастом, качеством проектно-исследовательских и строительных работ, принятыми конструктивными решениями, а также условиями эксплуатации (рис. 2).

Одной из важнейших проблем организации ремонтно-восстановительных работ является отсутствие нормативной базы проектирования и производства работ. В АО «Мосинжпроект» с этой целью разработан СТО по проектированию и производству работ по ремонту подземных сооружений транспортного назначения. Он включает в себя:

- требования к выполнению обследования подземных конструкций, с учётом особенностей выполнения ремонтно-восстановительных работ в условиях действующих подземных сооружений;
- систематизацию дефектов и поврежденных подземных конструкций и базовые технологические методы для их устранения;
- материалы для ремонта, включая сухие смеси и инъекционно-уплотняющие составы с рекомендациями по областям и методам применения материалов;
- общие правила проектирования ремонтно-восстановительных работ;
- типовые технические и технологические решения для разработки техкарт и регламентов;
- методы контроля качества.

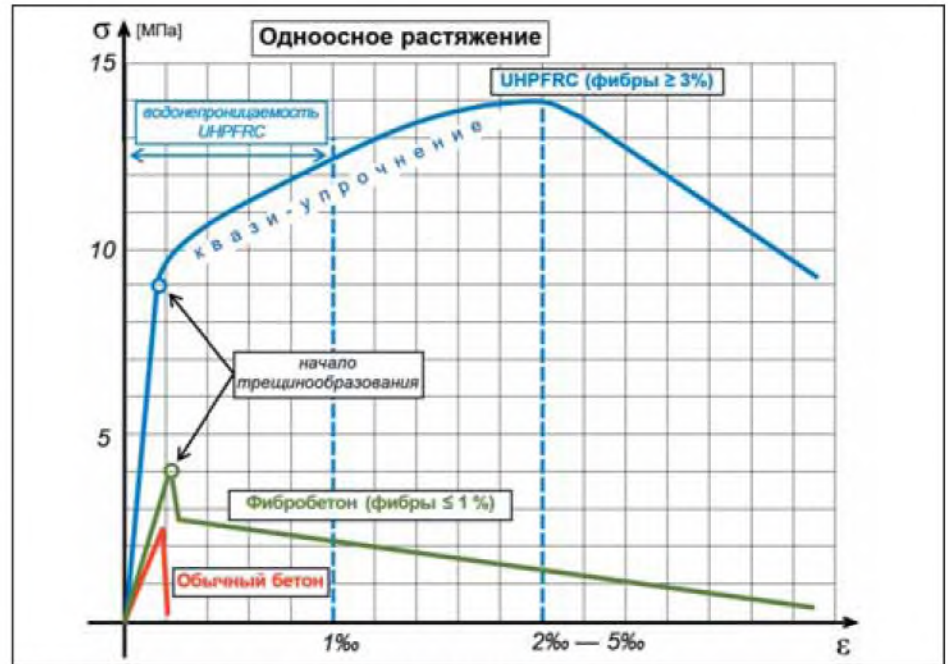


Рис. 1. Результаты испытаний фибробетонов на одноосное растяжение



Рис. 2. Параметры, определяющие физический износ подземных сооружений

Рис. 3. Последствия разрушения глиняного замка канала им. Москвы с затоплением участка Волоколамского тоннеля





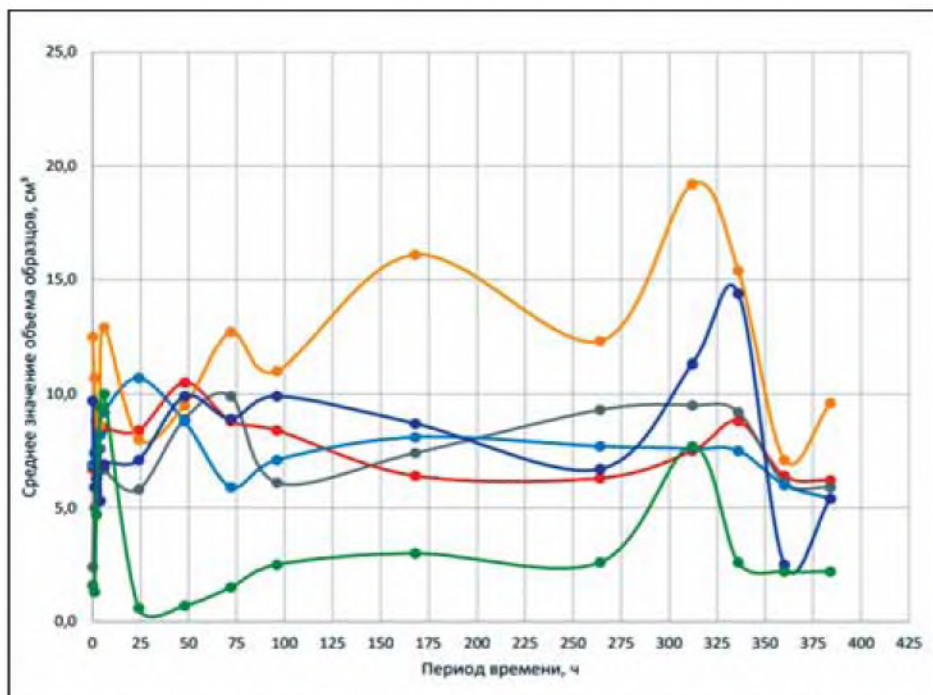


Рис. 4. Относительное изменение объема образцов при замачивании исследуемых материалов в воде

Затем К. Н. Шумов (АО «Дороги и мосты») поделился опытом проектирования и обоснования в органах государственной экспертизы технических решений, обеспечивающих высокую эксплуатационную надежность транспортных тоннелей в сложных гидрогеологических условиях (рис. 3).

М. Е. Турсунов (АО «Мосинжпроект») рассказал о результатах полевых и лабораторных исследований инъекционных материалов для восстановления гидроизоляции подземных сооружений. Им были продемонстрированы результаты анализа лабораторных испытаний для определения сравнительных технических характеристик образцов инъекционной гидроизоляции из акрилатного геля и однокомпонентной полиуретановой смолы различных производителей. Необходимость такого исследования была вызвана:

- отсутствием протоколов испытаний, подтверждающих заявленные характеристики;

- наличием повторных водопроявлений в местах производства работ;
- выдавливанием инъекционного материала из конструкций после производства работ;
- изменением структуры и объема материалов при длительном замачивании (рис. 4);
- наличием трещин при использовании в помещениях с отрицательной температурой.

На основании анализа проведенных испытаний было показано, что метод восстановления гидроизоляции с использованием акрилатных гелей доказал свою эффективность при восстановлении гидроизоляции сооружений, что в рыночных условиях при разнообразии выбора и с учетом импортозамещения требует изучения технических характеристик материалов применительно к строящимся и эксплуатирующимся подземным сооружениям. Проведенные испытания показали, что несмотря на заявленные от производителя характе-

ристики материалов по ГОСТ 33762-2016 отличаются. При этом ГОСТ 33762-2016 не регламентирует заказчику, а также проектным и подрядным организациям, на какие именно характеристики материалов необходимо опираться при выборе материалов с учетом поставленных задач и особенностей сооружений. В связи с этим была предложена программа проведения дополнительных испытаний инъекционных материалов в местах, наиболее подверженных водопроявлениям:

- деформационные швы и примыкания новых сооружений с учетом ожидаемых деформаций и вибраций от транспорта;
- деформационные швы и примыкания эксплуатируемых сооружений с учетом полученных деформаций и вибраций от транспорта;
- деформационные швы, примыкания и стыки блоков в вентиляционных каналах, где имеется температура ниже нуля градусов;
- деформационные швы, примыкания и стыки блоков с различным дебитом поступления воды.

Особенности ремонта подземных гидротехнических сооружений (рис. 5) были рассмотрены в докладе А. Ю. Глуценко (ООО «Русинжект»), включая:

- фильтрацию воды через два участка, поврежденных при строительстве в 1937 г.;
- фильтрацию воды и выдавливание битума через деформационные швы.

Способы ликвидации водопроявлений в подземных сооружениях с применением инъекционных смесей на минеральной основе были рассмотрены в докладе доктора техн. наук И. Я. Харченко (РУТ МИИТ). Как отметил докладчик, ликвидация водопроявлений при строительстве и эксплуатации подземных сооружений является чрезвычайно важной и актуальной задачей, определяющей степень их эксплуатационной надежности и безопасности. Активные водопроявления сопровождаются не только коррозией ограждающих конструкций, снижающей их несущую способность, но и суффозионным разуплотнением грунта в заобделочном пространстве, следствием чего являются сверхнормативные деформации не только подземных сооружений, но и окружающей застройки. И. Я. Харченко приведен сравнительный анализ инъекционных смесей на минеральной и полимерной основе (табл. 2).

Докладчиком показано, что инъекционные смеси на минеральной основе являются более технологичными и долговечными по сравнению с инъекционными смесями на полимерной основе. В зависимости от характера водопроявлений и конкретных геотехнических условий, смеси на минеральной основе приготавливаются на основе общестроительных и специальных цементов, микроцементов, бентонитов, композиционных вяжущих в виде цементно-бентонито-силикатных смесей, смесей на основе сульфалоюминатов кальция, а также смесей на основе коллоидного кремнезёма.

Рис. 5. Донный водоспуск Тушинского гидроузла, 1937 г.



Таблица 2

**Эффективные области применения инъекционных систем**

| Системы на минеральной основе  | Системы на полимерной основе  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• ликвидация разуплотнений в заобделочном пространстве</li> <li>• упрочнение структуры грунта в зоне влияния тоннельных сооружений</li> <li>• устройство вертикальных и горизонтальных противодиффузионных завес</li> <li>• инъекция в трещины каменных, бетонных и железобетонных конструкций для восстановления их конструктивного качества</li> <li>• инъекция в нарушенную структуру бетонных и каменных конструкций</li> <li>• заделка трещин изнутри тоннеля при активном водопроявлении</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ликвидация активных водопроявлений с последующим ремонтом дефектов минеральными композициями</li> <li>• восстановление водонепроницаемости деформационных швов</li> <li>• ликвидация сквозного промокания капиллярно-пористой структуры каменных, бетонных и железобетонных конструкций</li> <li>• защита арматуры от развития коррозионных процессов</li> </ul> |
| <p>Целесообразно применять комбинированные системы: на полимерной основе – для ликвидации активных водопроявлений; на минеральной основе – для упрочнения и восстановления эксплуатационной пригодности подземных сооружений</p>   |   |

Об уникальной вакуумной системе гидроизоляции для объектов подземного строительства рассказал А. В. Цыбенко (ООО «Технониколь Строительные Системы»). Особенности системы включают в себя:

- водонепроницаемость;
- высокую прочность и эластичность (табл. 3);
- прочность к проколам и разрывам;
- химическую стойкость;
- долговечность порядка 100–150 лет;
- всепогодный монтаж;
- минимальные требования к основанию;
- секционирование системы;
- вакуумный контроль;
- ремонтпригодность;
- локализация протечек;
- срок ремонта – один рабочий день
- прогнозируемая стоимость ремонта.

Результаты научно-исследовательской деятельности по анализу водопроявлений в высокоточной железобетонной обделке метрополитенов, ведущиеся на кафедре СПСиГП НИТУ «МИСиС», доложил А. Р. Попонин («НИТУ «МИСиС»). В ходе обследования нескольких участков перегонных тоннелей были выявлены основные типы дефектов, являющихся причиной возникновения водопроявлений. Установлено, что среди колец, со следами водопроявлений, основная доля водопроявлений приходится на замковые и смежные блоки. В ходе работ были собраны такие данные, как позиция кольца обделки, пикетаж центра кольца, смещение кольца в плане и профиле, смещение по радиусам и диаметрам, тип используемого резинового уплотнителя, типы блоков, в которых обнаружены следы водопроявлений. В результате сформировался большой массив данных по каждому участку. Для его исследования применены технологии анализа больших данных с использованием алгоритмов машинного обучения Random Forest и SVM, позволивших выполнить всесторонний анализ влияющих факторов (табл. 4).

Следующая секция работы конференции, посвященная специальным способам строительства транспортных тоннелей и метрополитенов, открылась сообщением А. Л. Василевского (ОАО «Минскметропроект») об организации строительства подземного пешеходного перехода без остановки движения транспорта под просп. Независимости в г. Минске над действующими тоннелями первой линии метрополитена. Проходка закрытой части подземного пешеходного перехода велась на полное сечение под защитой экрана из труб. При этом расстояние между экраном из труб и действующими тоннелями метрополитена составило около 2,5 м от свода тоннелей и около 1,5 м до экрана до просп. Независимости. Работы велись без нарушения существующего графика движения транспорта. При сооружении перехода на участке закрытого способа работ используются направленное буровое бурение для минимизации просадок поверхности грунта и вместе с ним кон-

Таблица 3

**Свойства полимерных мембран «LOGICBASE»**

| Характеристика   | ГОСТ 30547-97  | СП 120.13330   | «LOGICBASE V-SL» | «LOGICBASE V-ST» |
|--|----------------|----------------|------------------|------------------|
| Условная прочность, МПа, не менее                      | 8              | 10             | 16               | 12               |
| Относительное удлинение при разрыве, %                 | 200            | 200            | 320              | 300              |
| Разрывная сила при растяжении, Н                       | Не нормируется | Не нормируется | 1500             | 1200             |
| Водопоглощение в течение 24 ч, % по массе, не более    | 2,0            | 1              | 0,1              | 0,1              |
| Водонепроницаемость при гидростатическом давлении, МПа | 0,2 МПа        | 0,3            | 1                | 1                |
| Температура хрупкости вяжущего, °С, не выше            | Не нормируется | -50            | -                | -                |
| Гибкость на брусе, с закруглением радиусом             | -20            | -40            | -45              | -45              |
| Теплостойкость, °С, не более %                         | 2              | 2              | 2                | 2                |
| Химическая стойкость                                   | Не нормируется | 10             | 9                | 9                |

Таблица 4

**Результаты анализа водопроявлений в высокоточной железобетонной обделке транспортных тоннелей и метрополитенов**

| Участок                             | Тоннель, проходческий щит | Количество обследованных колец | Количество водопроявлений (шт. – %) |                  |            |
|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------|------------|
|                                     |                           |                                | В кольцах (шт. – %)                 | В блоках А, К, F | В блоке К  |
| АСПБ «Шереметьево»                  | –                         | (1-300) 300                    | 78 – 26,0%                          | 26 – 33,3%       | 21 – 26,9% |
| от ст. «Текстильщики» до пл. №8     | ППТ, 747                  | (1-274) 274                    | 38 – 13,9%                          | 24 – 63,2%       | 20 – 52,6% |
|                                     | ЛПТ, 747                  | (1-275) 275                    | 73 – 26,5%                          | 23 – 31,5%       | 18 – 24,7% |
| от пл. №8 до ст. «Нижегородская»    | ППТ, 831                  | (1-620) 620                    | 118 – 19,0%                         | 92 – 78,0%       | 59 – 50,0% |
|                                     | ЛПТ, 747                  | (1-325) 325                    | 134 – 41,2%                         | 95 – 70,9%       | 63 – 47,0% |
| от ст. «Нижегородская» до пл. №25.3 | ППТ, 328                  | (465-815) 350                  | 131 – 29%                           | 116 – 88,5%      | 75 – 57,3% |
|                                     | ЛПТ, 832                  | (600-884) 285                  | 73 – 25,6%                          | 49 – 67,1%       | 32 – 43,8% |

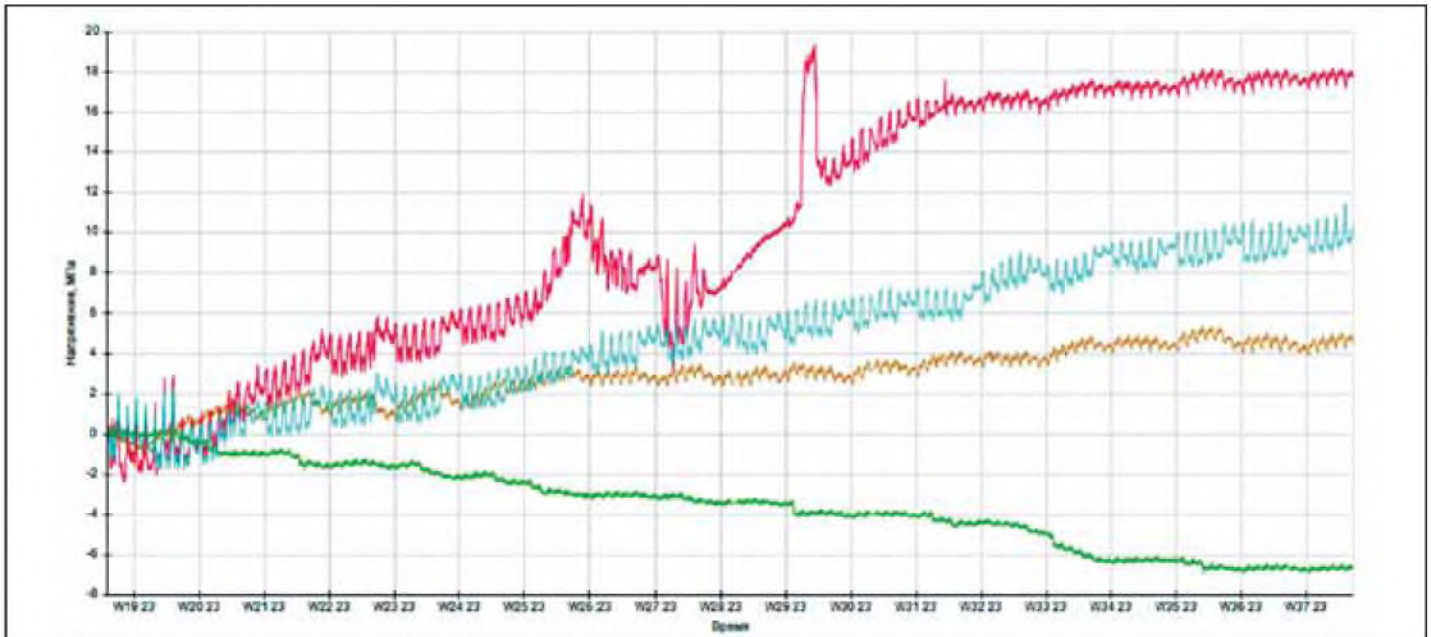


Рис. 6. Показание струнного тензометра CsIBim SVW в системе постоянного дистанционного мониторинга строительства подземного пешеходного перехода под проспектом Независимости в г. Минске

струкции проезжей части автомобильной дороги. Для обеспечения безопасности движения поездов метрополитена предусмотрен постоянный мониторинг на период ведения работ (рис. 6). Проходка перехода осуществляется с применением малогабаритного экскаватора и вывозом грунта погрузчиком. В качестве временных несущих конструкций принята замкнутая металлическая рама, которая в последующем бетонируется и включается в постоянные конструкции пешеходного перехода.

Об особенностях устройства jet-элементов при строительстве станции «Крымская» Московского метрополитена рассказал канд. техн. наук А. А. Долев (АО «Мосинжпроект»).

Ограждение станционного котлована устраивается из буроэскавационных свай, пересекающих слой водонасыщенных песков и заглубленных в глины. В местах пересечения буроэскавационных свай, для увеличения водонепроницаемости их стыков, предполагалось изготовление одного ряда jet-элементов диаметром 0,6 м от кровли глины до УГВ по однокомпонентной технологии. Работы на опытном участке не показали удовлетворительную сплошность такого решения, вследствие чего были приняты jet-элементы диаметром 1 м, изготавливаемые по технологии jet-2 и расположенные в два ряда. Контрольное бурение показало удовлетворительные результаты. При этом большая часть керна

была со стабильным выходом: 3 м керна в виде щебня и последние несколько метров вышла плотная глина (рис. 7). Прослой водонасыщенного песка отсутствуют. Что и являлось целью всех этих работ. Такое решение было признано оптимальным и принято к реализации при дальнейшем производстве работ на строительной площадке.

О технологии усиления грунтов методом иньектирования полимерных составов на объектах тоннелестроения и транспортного строительства рассказал В. А. Черненко (ООО «Эм-Си Баухеми»). Предложенная технология MC-Montan Inject LE включает в себя: предварительные изыскания и сбор данных, расчет решения, проведение работ и оценку произведенных работ.

Секция, посвященная научно-техническому сопровождению строительства подземных сооружений, открылась докладом О. А. Мозгачевой (АО «НИИ «Строительство» – НИИОСП им. Н. М. Герсеванова), где рассматривался учет возможных дополнительных осадков, вызванных технологией геотехнических работ, при выполнении расчетов оценки влияния строительства на существующую застройку. В докладе показано, что технологические осадки при устройстве «стены в грунте» траншейного типа и из буроэскавационных свай, а также изготовления анкеров, усилении фундаментов буриньекционными сваями и укреплении грунта цементацией могут превышать расчетные осадки, полученные в результате математического моделирования. В частности, технологические осадки при устройстве «стены в грунте» траншейного типа (табл. 5) могут быть вызваны:

- снижением горизонтального давления;
- динамическими нагрузками при разработке грунта;
- снижением характеристик грунта при увлажнении бентонитовым раствором;

Рис. 7. Выход керна без песчаных прослоев на опытном участке при строительстве станции «Крымская» Московского метрополитена



Таблица 5

**Технологические осадки от устройства «стены в грунте» в различных инженерно-геологических условиях**

| Расположение объекта                        | Оригинальное название объекта согласно источникам | Глубина «стены в грунте», м | Толщина «стены в грунте», м | Диапазон расстояний от «стены в грунте» до точек наблюдения, м | Диапазон измеренных технологических осадок, мм | Тип инженерно-геологических условий (ИГУ) |
|---|---|-----------------------------|-----------------------------|--|--|---|
| Великобритания, г. Лондон и его окрестности | Mew Palace Yard                                   | 30,0                        | 1,0                         | 8,9–36,2   | 1,2–6,2  | 3   |
|   | Reading   | 18,4                        | 1,2                         | 4,4–11,7   | 0–1,1  |   |
|   | East of Falloeden Way                             | 22,0                        | 1,0                         | 1,9–20,3   | 0–1,4  |   |
|   | A406/A10 Junction*                                | 13,5                        | 0,8/0,8*                    | 2,0–5,0  | 3,0–5,1  |   |
|   | Aldersgate  | 33,0                        | 1,0                         | 10,0   | 5,0  |   |
|   | Minster Court                                     | 21,5                        | 0,8                         | 2,1  | 3,0  |   |
|   | Walthamstow*                                      | 24,1                        | 0,8/1,5*                    | 8,0–11,0   | 0–5,6  |   |
| США, г. Бостон                              | South Cove  | 24,4                        | 0,9                         | 1,6–9,8  | 0–5,1  | 1   |
| Норвегия, г. Осло                           | Studenterlunden                                   | 21,0                        | 1,0                         | 1,2–10,5   | 0–12,6   |   |
|   | Studenterlunden (опытный участок)                 | 28,0                        | 1,0                         | 0–9,0  | 0,1–5,8  |   |
| Египет, г. Каир                             | Многоэтажное здание                               | 21,0                        | 0,6                         | 1,8–14,4   | 0,4–8,6  |   |
| Россия, г. Москва                           | Турецкий ТЦ                                       | 27,0                        | 0,6                         | 0,5–3,0  | 2,0–14,0                                       |   |
|   | Манеж   | 14,0                        | 0,6                         | 4,0  | 5,0  |   |
|   | РФФИ  | 17,5                        | 0,6                         | 2,1  | 8,3  |   |
| Сингапур                                    | Lot One Shoppers' Mall                            | 17,2–28,1                   | 0,6 и 0,8                   | 1,5–19,0   | 1,0–25,0                                       | 2   |
|   | Jurong Point                                      | 13,1–25,0                   | 0,6 и 0,8                   | 1,0–24,0   | 0–11,0   |   |
|   | Capital Tower                                     | н/д                         | 0,8; 1,0 и 1,5              | 5,0–24,0   | 0–4,0  |   |
|   | Raffles Hotel                                     | 20,0–25,0                   | 0,8                         | 1,2  | 2,3–9,6  |   |
|   | Post Center                                       | 55,5                        | 1,2                         | 1,0–10,0   | 0–21,0   |   |
| Китай, г. Сучжоу                            | Subway Station                                    | 48,0                        | 1,0                         | 1,0–10,0   | 7,0–27,0                                       |   |
| Россия, г. Санкт-Петербург                  | Зоологический пер., д. 2-4                        | н/д                         | 0,8                         | 1,5–52,0   | 0–26,0   | 1   |
|   | Набережная реки Мойки, д. 74                      | н/д                         | 1,0                         | 1,4–54,0   | 0,5–25,0                                       |   |

ИГУ-1. Дисперсные грунты - от песков до глин в любой комбинации (без слабых и переуплотненных глин)

ИГУ-2. Дисперсные грунты с преобладанием слабых глинистых грунтов

ИГУ-3. Дисперсные грунты с преобладанием сильно переуплотненных глинистых грунтов

- усадкой бетона при твердении.

Сравнение расчетов тоннелей методами конечных элементов и заданных нагрузок с фактической работой тоннельных обделок проведено в докладе Р. А. Соловьева (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»).

Последняя секция первого дня работы конференции была посвящена обеспечению требований пожарной безопасности при проектировании и эксплуатации подземных сооружений транспортного назначения. Она открылась докладом Д. А. Зубрицкого (СПб УПС МЧС России). Как отметил докладчик, обеспечение пожарной безопасности является важной задачей как проектировщика, так и лиц, эксплуатирующих здания и сооружения метрополитенов (рис. 8).

Действующая система технического регулирования, на различных этапах жизненного цикла метрополитенов, устанавливает основополагающие направления обеспечения

**Рис. 8. Экспериментальные исследования пожара в действующем тоннеле метрополитена**



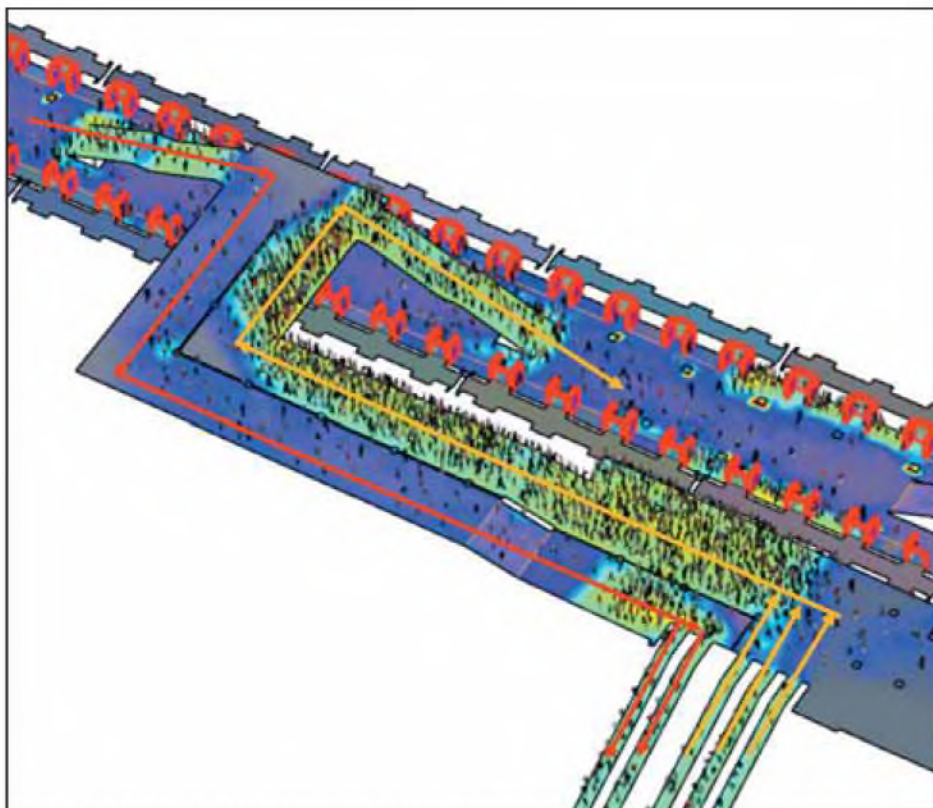


Рис. 9. Имитационная модель движения пассажиров на станции метрополитена

безопасности. Отсутствие в технических регламентах конкретных требований, направленных на достижение пожарной безопасности, связано с предусмотренной законодательством вариативностью способов подтверждения соответствия зданий и сооружений требованиям технических регламентов. Указанное обстоятельство обязывает проектировщика и (или) организацию, эксплуатирующую объект инфраструктуры метрополитена, выбрать такой способ. Следовательно, на указанных лиц накладывается ответственность за обоснованность выбранного способа подтверждения соответствия. При этом явным препятствием обеспечения безопасной эвакуации людей из подземных сооружений метрополитенов является невозможность применения действующих расчетных методик в связи с недостаточностью результатов научных исследований в указанной области.

Обоснование методики прогнозирования пассажиропотоков метрополитена, в том числе для решения задач эвакуации пассажиров, было рассмотрено в работе Д. Е. Шабуниной (ООО «Центр исследова-

ний опасных факторов пожаров»). Ей отмечено, что существующий нормативно-методический подход к обоснованию принимаемых в проектах решений приобрёл либеральный характер: большинство нормативных документов стали носить добровольный характер применения. В такой ситуации мы, с одной стороны, теряем опору в проектной деятельности, но одновременно с этим возникает возможность использования новых научных подходов и методов доказательств достаточности и безопасности принимаемых решений для станций метрополитена. Вместе с тем, существующие нормы не содержат методики для оценки правильности принятых объемно-планировочных решений объектов метрополитена, несмотря на наличие нормативных параметров пропускной способности элементов путей движения пассажиров и пассажиропотоков; в нормативных документах отсутствуют критерии достаточности, например, является ли достаточным наличие одного вестибюля или пяти турникетов для обеспечения безопасного и комфортного нахождения пассажиров на станции метрополи-

тена. Значения параметров пропускной способности эскалаторов значительно отличаются от значений, полученных экспериментальным путем. Используя научный подход и методы моделирования, имеется возможность определить достаточность обоснованности объемно-планировочных решений (необходимое количество вестибюлей, эскалаторов, турникетов, дверей, размещение касс и объектов попутного обслуживания пассажиров, оценка влияния геометрических параметров станции, примыканий пересадочных сооружений на комфортное использование пассажиров) для более высокого и надежного уровня проектирования подземных сооружений и экономии огромного количества ресурсов.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований движения пассажиров на загруженных станциях метрополитена Санкт-Петербурга и Москвы, по результатам которых получены зависимости скорости пассажиров от плотности людского потока, пропускные способности основных элементов станций, разделение по группам мобильности пассажиров и процент использования пассажирами средств попутного обслуживания (касс, банкоматов, торговых точек) и досмотровой зоны и среднее время на их использование. В качестве примера для валидации полученных зависимостей построена имитационная модель движения пассажиров на одной из рассматриваемых станций с исходными данными, полученными по экспериментальным исследованиям (рис. 9). Докладчиком показана возможность анализа, прогнозирования и оценки эффективности принятых объемно-планировочных решений комплексным подходом с использованием передовых методов моделирования процессов.

Доклад В. А. Полякова (ООО «НПК-ФПБ») был посвящен перспективе использования мобильной роботизированной установки пожаротушения в железнодорожных тоннелях на примере дополнительных противопожарных мероприятий для железнодорожного однопутного Северомуйского тоннеля длиной 15 км.

Закончился первый день докладом В. Ю. Бибенина (ООО «Русинжек»), поделившегося со слушателями опытом усиления грунтов основания внутри функционирующего здания большой площади, построенного на территории бывшего полигона для захоронения бытовых отходов. Работы осложнились рядом факторов:

- из некоторых скважин наблюдалось значительное газопроявление из-за процессов гниения органических отходов. Были установлены датчики-газоанализаторы, обеспечена вытяжная вентиляция, для бурения использовалась буровая установка с гидроприводом, а электрическая маслостанция была отнесена от места производства работ на максимально возможное расстояние. Кроме этого, приготовлены гибкие гофрированные рукава по диамет-

Рис. 10. 3-D теория устойчивости подземного пространства и технологии её обеспечения





Рис. 11. Калининско-Солнцевская линия. Цифровая модель станционного комплекса «Внуково»

ру скважины, чтобы в случае значительного выхода газа обеспечить газоотвод за пределы здания;

- выяснилось, что сплошной грунтовый массив под зданием практически отсутствует. В основном разрез представляет собой полужидкую грязь болотного цвета и запаха с многочисленными включениями остатков пластика, текстиля, металла, бетонного и кирпичного боя и кусков дерева.

В итоге в процессе производства работ наблюдались небольшие поднятия фундаментной плиты, негативные процессы остановились, геодезический мониторинг отметок плиты заказчиком продолжается.

Второй день конференции проходил в форме онлайн семинара. Его модераторами выступили канд. экон. наук Е. В. Дорот (АО «РЖДстрой») и проф. Чжоу Вэнь (Китайский Северо-Восточный университет). С приветственным словом к участникам семинара обратились Е. В. Дорот, а также профессора Чжоу Вэнь и И. Я. Дорман (Тоннельная ассоциация России).

Семинар начался с доклада профессора и главного учёного Цю Венге (Юго-Восточный Цзяотунский университет и TUNNELKEY Co.), посвященного 3-D теории устойчивости подземного пространства и технологии её обеспечения (рис. 10).

После чего канд. техн. наук А. Г. Полянкин (АО «Мосинжпроект») рассказал о цифровых сервисах АО «Мосинжпроект» в управлении и реализации строительных проектов, включающих в себя (рис. 11):

на этапе ПИР:

- создание цифровой информационной модели;
- наполнение модели данными о проектных решениях;

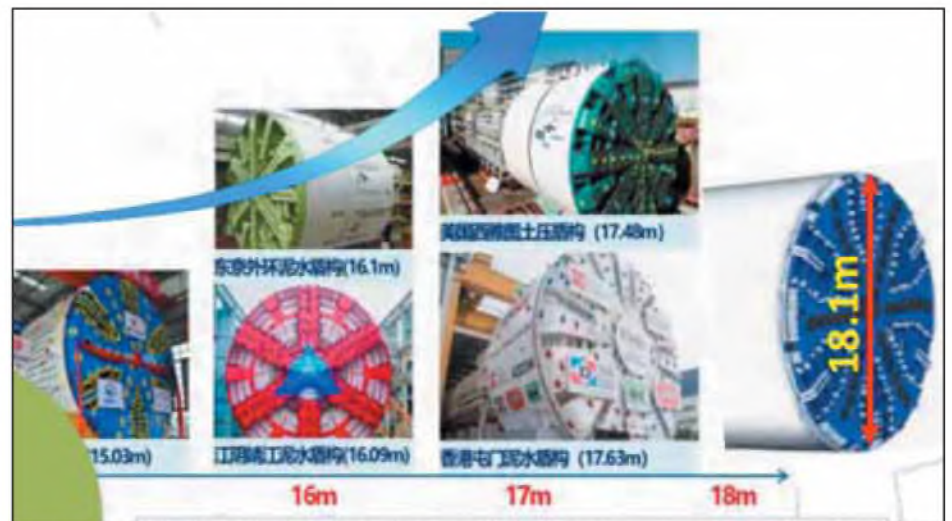


Рис. 12. Щиты большого диаметра, производимые на заводах КНР

Таблица 6

Результаты огневых испытаний блоков отделки под нагрузкой

| Испытанный образец   | Время испытаний, мин. | Взрывообразное разрушение   |
|--|-----------------------|---|
| Блоки тоннельной отделки 3055(по оси)×700×250 мм               | 95                    | Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя                 |
| Блоки тоннельной отделки 2984(по оси)×1400×300 мм              | 95                    | Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры |
| Блоки тоннельной отделки 5250(по наружной стороне)×1800×450 мм | 95                    | Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры |
| Блоки тоннельной отделки диаметром 6,0/5,4 м (Дн/Дв)           | 95                    | Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя                 |
| Блоки тоннельной отделки 4250(по оси)×1800×450 мм              | 90                    | Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры |
| Блоки тоннельной отделки 1714×1014×200 мм                      | 180                   | Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя                 |

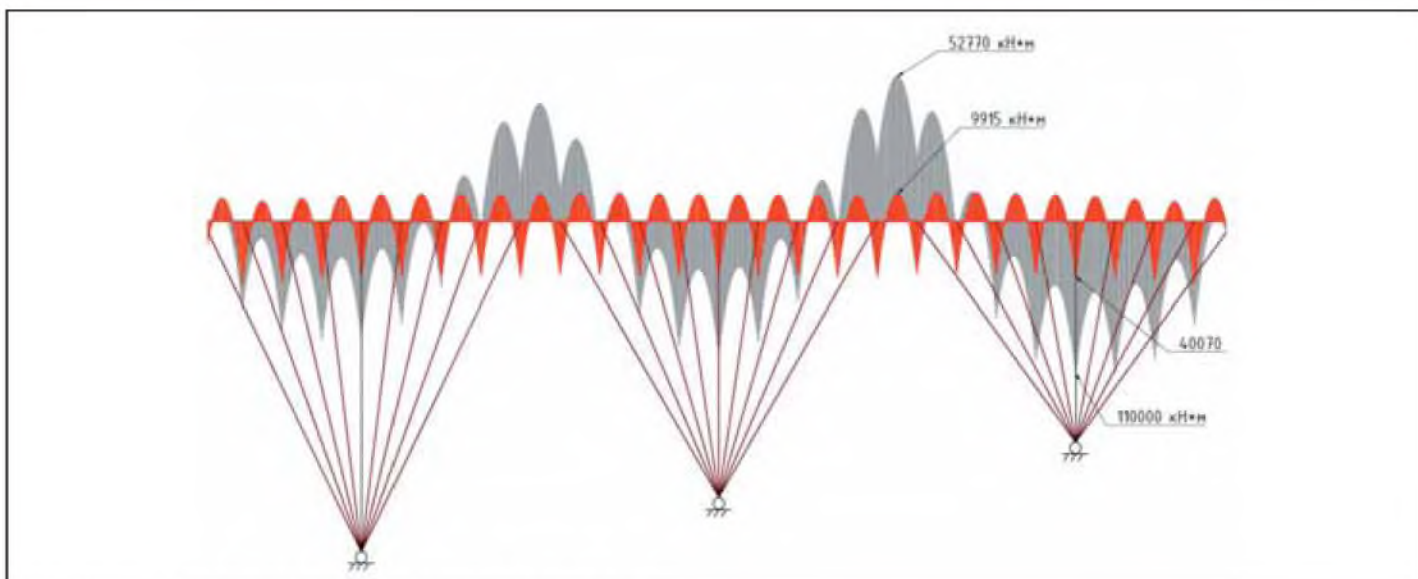


Рис. 13. Оптимизация веерной схемы по критерию минимума моментов

- присвоение элементам модели атрибутов;
- устранение коллизий и дублирования информации;
- подготовку модели к прохождению государственной экспертизы;

на этапе СМР:

- связь цифровой информационной модели с графиком производства работ;
  - управление изменениями и параллельное проектирование в модели;
  - отражение в модели данных о фактически выполненных работах;
  - план-фактный анализ;
  - управление фронтами работ на базе информационной модели;
  - формирование облака точек выполненных строительных конструкций;
- для эксплуатации:
- передача паспорта помещений с электронными ведомостями оборудования;
  - обеспечение связи модели с комплектом ИД;
  - передача модели объекта «as-built» в качестве исходных данных для системы ТОИР в соответствии с международными стандартами.

Вслед за ним, проф. Чжан Чжиго (Китайская компания по производству оборудования для железных дорог) рассказал о разработке и перспективе производства ТПК с гидропригрузом забоя большого диаметра (рис. 12).

Задача об устойчивости грунта над выработкой при уступном способе проходки рассмотрена в докладе доктора техн. наук К. В. Королева, канд. техн. наук Г. Н. Полякина, канд. техн. наук А. О. Кузнецова и В. С. Макаровой (СГУПС). В работе описывается силовое взаимодействие свода обрушения, формирующегося над калоттой, и окружающего грунтового массива. Задача решается по схеме Риттера и с учетом ряда уточнений этой схемы Я. О. Стахневым. Основными особенностями исследования являются применение паспорта прочности скальных грунтов для установления зависимости между нормальными и касательными напряжениями, действующими по контуру свода обрушения. Другая особенность решения состоит в том, что очертание свода обрушения определяется из условия максимизации функции, устанавливающей соотношение обрушающих и удерживающих сил, действующих на свод. Показано, что наиболее опасное очертание свода обрушения не зависит от высоты калотты.

Тему продолжил проф. Тан Чжуншэн (Пекинский университет Цзяотун) с докладом «Механизм и технология активного управления большими деформациями тоннеля при проходке в мягких породах с большим давлением».

Д. А. Голубева (ООО «Центр исследований опасных факторов пожаров») рассмотрела в своем докладе поведение железобетонных конструкций подземных сооружений в условиях пожара. Существующие методики проектирования железобетонных конструкций ориентированы в первую очередь на надземные здания и сооружения. Строительство подземных сооружений требует более тщательного подхода к проектированию железобетонных конструкций и учета особенностей эксплуатации и повышенного уровня ответственности. В докладе представлен анализ проведенных экспериментальных исследований поведения бетона при огневом воздействии, приведены результаты натурных огневых испытаний (табл. 6), сделаны предположения об особенностях поведения конструкций в подземных сооружениях.

Сюй Вэй Цин (Китайская группа железнодорожных тоннелей) поделился опытом скоростного строительства подводного тоннеля наружным диаметром 7,6 м, длиной 10 км щитовым методом на примере перехода через реку Янцзы Восточного газопровода Китай-Россия. Как отметил докладчик, ТПК при проходке на столь длинные расстояния в первую очередь должен обеспечивать надежность следующих узлов: основной подшипник щита, уплотнение подшипника и хвостовое уплотнение щита.

Об оптимизации внутренних усилий от постоянных нагрузок подводного плавающего сооружения рассказали И. М. Демидов и доктор техн. наук В. Ю. Поляков (РУТ МИИТ). Подводные плавающие транспортные тоннели представляют собой новый вид транспортных сооружений, имеющие ряд значительных преимуществ. Важнейшие из них – возможность строительства при значительных глубинах, а также компенсация собственного веса конструкции выталкивающей архимедовой силой для положительной плавучести. Положительная плавучесть,

Рис. 14. Интеллектуальное комплексное оборудование для обследования тоннелей





Рис. 15. Перспективные скоростные и высокоскоростные линии России

предотвращающая погружение на глубину более расчетной, должна быть обеспечена и при прохождении подвижного состава. Поэтому появление временной нагрузки от поезда всегда снижает внутренние усилия в конструкциях сооружения. Применение подводных плавающих тоннелей на больших глубинах затруднено из-за сложности в устройстве большого количества анкерных креплений, хотя сегодня технологии бурения и обустройства скважин применяются на глубинах до 3 км. Докладчиками рассмотрено применение веерных анкерных тросов, соединённых в пучок для уменьшения количества анкерных прикреплений или же преодоления препятствия на дне (значительные глубины или неподходящие грунты) с помощью такой конструкции (рис. 13). Благодаря компенсации нагрузки от собственного веса архимедовой силой величина пролета может значительно превышать рекордные 1100 м для вантовых мостов. Предложенный метод оптимизации позволяет снизить изгибающие моменты в зонах краевого эффекта и при применении веерной схемы закрепления в несколько раз. Это позволит применять унифицированные секции конструкции. В статье обосновывается метод оптимизации и его верификация с помощью метода конечных элементов.

Интеллектуальная технология восстановления обделки тоннеля описана в докладе Ван Байцюань (Китайский институт исследования и проектирования железнодорожных тоннелей). Общее техническое решение включает в себя:

- транспортное средство (рис. 14);
- главный диспетчерский пункт с электронной системой управления наземной радиолокационной системы и видимого обнаружения;
- средства сбора и обработки данных, включая программное обеспечение и промышленные управляющие компьютеры, которые могут обнаруживать дефекты и повреждения внутри обделки тоннеля;
- систему видимого обнаружения, включающую в себя массив камер для сканирования местности, блок светодиодной подсветки и промышленный компьютер;
- трехмерный лазерный сканер, комбинированный навигационный блок для сбора, передачи, хранения и автоматического объединения изображений поверхности и информации о поперечном сечении тоннеля;
- идентификацию дефектов и повреждений тоннельных конструкций и автоматический вывод отчетов о результатах обработки данных.

Закончился день докладом О. О. Шелгунова (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»), рассказавшего о перспективах проектирования и сооружения тоннелей на высокоскоростных железнодорожных магистралях (рис. 15).

Докладчик отметил, что согласно паспорту государственной программы «Развитие транспортной системы», федеральному проекту «Развитие высокоскоростных железнодорожных магистралей» следует приступить к проектированию высокоскоростной специализированной железнодорожной магис-

тралей (ВСМ) Санкт-Петербург – Москва. Руководствуясь опытом проектирования и эксплуатации ВСМ отмечено, что тоннели являются не только средством преодоления препятствий, но и сооружениями, предназначенными улучшить эксплуатационные качества магистралей, сохранить ландшафты, природные заповедные и охранные зоны, селитебные территории. В связи с ужесточившимися требованиями по охране окружающей среды в условиях спокойного равнинного рельефа часть линий может быть проложена в тоннелях. Устройство трассы ВСМ по кратчайшему направлению на пересеченной местности, как правило, требует сооружения нескольких небольших по протяженности тоннелей. Проекты, осуществленные в последние годы в зарубежных странах, показывают, что при пересечении водных преград на ВСМ по совокупности факторов в сравнении с мостовыми переходами зачастую предпочтительными являются тоннельные варианты.

С заключительным словом к участникам семинара обратились профессора И. Я. Дорман и Вэнь Чжао, а также Е. В. Дорот.

После завершения программных докладов прошла интересная дискуссия по вопросам подземного строительства.

В конце первого дня конференции состоялись награждения победителей конкурса ТАР на лучшее применение современных технологий в подземном строительстве и вручение благодарностей управления ТАР за активное участие в работе Тоннельной ассоциации.





## ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ИВАНОВИЧА КУЛАГИНА



**23 ноября 2023 г. на 87-м году жизни перестало биться сердце Николая Ивановича Кулагина, генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», стоявшего у руля института почти 30 лет.**

После окончания Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта Николай Иванович прошел трудовой путь длиной в целую жизнь (более 60 лет). В 1963–1977 гг. он работал в Ленметропроекте старшим инженером, заместителем начальника отдела, главным специалистом, начальником отдела ПО.

В 1977 г. Николай Иванович организовал и возглавил филиал института в Северо-Байкальске – «Бамтоннельпроект», который занимался проектированием уникальных тоннелей БАМ.

С 1981 по 2010 г. был бессменным генеральным директором ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс». Под руководством Н. И. Кулагина коллектив института успешно решал сложнейшие вопросы по всему комплексу изысканий и проектирования: метрополитенов и подземных сооружений в Санкт-Петербурге, Челябинске, Казани, Красноярске, Новосибирске и других городах, автодорожных и железнодорожных тоннелей на всей территории России. Также под его руководством институтом были выполнены проекты метрополитенов городов Гаваны, Алжира и Будапешта.

Николай Иванович был одним из создателей Тоннельной ассоциации России, много лет являлся членом ее правления, принимал активное участие в работе журнала «Метро и тоннели», публикуя интереснейшие профессиональные статьи.

Николай Иванович вел преподавательскую деятельность в ЛНИИЖТе, воспитав десятки высококвалифицированных инженеров-тоннельщиков, имел ученое звание доктора технических наук и был автором более 60 научных статей и изобретений.

За свои заслуги Николай Иванович Кулагин был награжден орденами «Трудового Красного Знамени» (1975) и «Дружбы народов» (1985); медалями: «За строительство Байкало-Амурской магистрали» (1981), «Ветеран труда» (1987), «В память 300-летия Санкт-Петербурга» (2002), «В ознаменование 1000-летия г. Казани» (2005), «За заслуги перед отечеством» (2011), «За заслуги перед Санкт-Петербургом» (2010). Ему присуждены звания: лауреат Премии Совета Министров СССР (1991), почетный транспортный строитель (1987), заслуженный строитель Российской Федерации (1994), почетный строитель России (2004).

Николай Иванович был профессионалом высочайшего уровня, но еще мы запомним его и как самоотверженного, бескорыстного, благородного человека. Его отличали такие качества, как деликатность, интеллигентность и человеколюбие.

Энергии и жизнелюбию Николая Ивановича мог позавидовать любой, и при этом он был оптимистом с хорошим чувством юмора.

Он обладал редким среди технарей-инженеров талантом писателя и поэта. Николая Ивановича не стало, а его стихи и книги будут с нами всегда.

Тоннельная ассоциация России, коллектив ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» и редакция журнала «Метро и тоннели» выражают глубокое соболезнование семье и родственникам в связи с тяжелой утратой.

Светлая память о Николае Ивановиче Кулагине навсегда останется в сердцах коллег, друзей и близких.