

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

*14 – 15 ноября 2023 года на площадке «Omega Rooftop» в г. 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 руководитель Исполнительной дирекции ТАР А.Б. Лебедьков и заместитель руководителя С.В. Мазеин 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, отсутствие 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 исключения армирования, применение высокопрочного и сверхвысокопрочного фибробетона, исследования конструкций из фибробетона работающих на растяжение, изгиб и кручение, совершенствование, фибрового волокна (табл. 1).

## Зарубежный опыт применения фибробетонов при строительстве коммунальных тоннелей

Проект	Год	Страна	Назначение	D <sub>н</sub> , м	h, м	Тип ФБ
Fanaco	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 Traslases Manabi (La Esperanza)	2001	Эквадор	Водоснабжение	3.90	0.20	СФБ
Sörenberg	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 Amager )	2009	Дания	Водоснабжение	4.80	0.30	СФБ
Harefield Gas Tunnel	2009	Англия	Газопровод	2.95	0.18	ПФБ
Fontsaña-Trinitat Interconnection Tunnel	2010	Испания	Водоснабжение	5.60	0.20	СФБ+С
Ems-Dollard Crossing	2010	Герм. - Нид.	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 Santofia-Laredo-Colindres	2016	Испания	Канализация	4.00	0.25	ПФБ+С
Blacksnake Creek stormwater runoff tunnel	2019	США	Канализация	3.12	0.19	ПФБ

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.

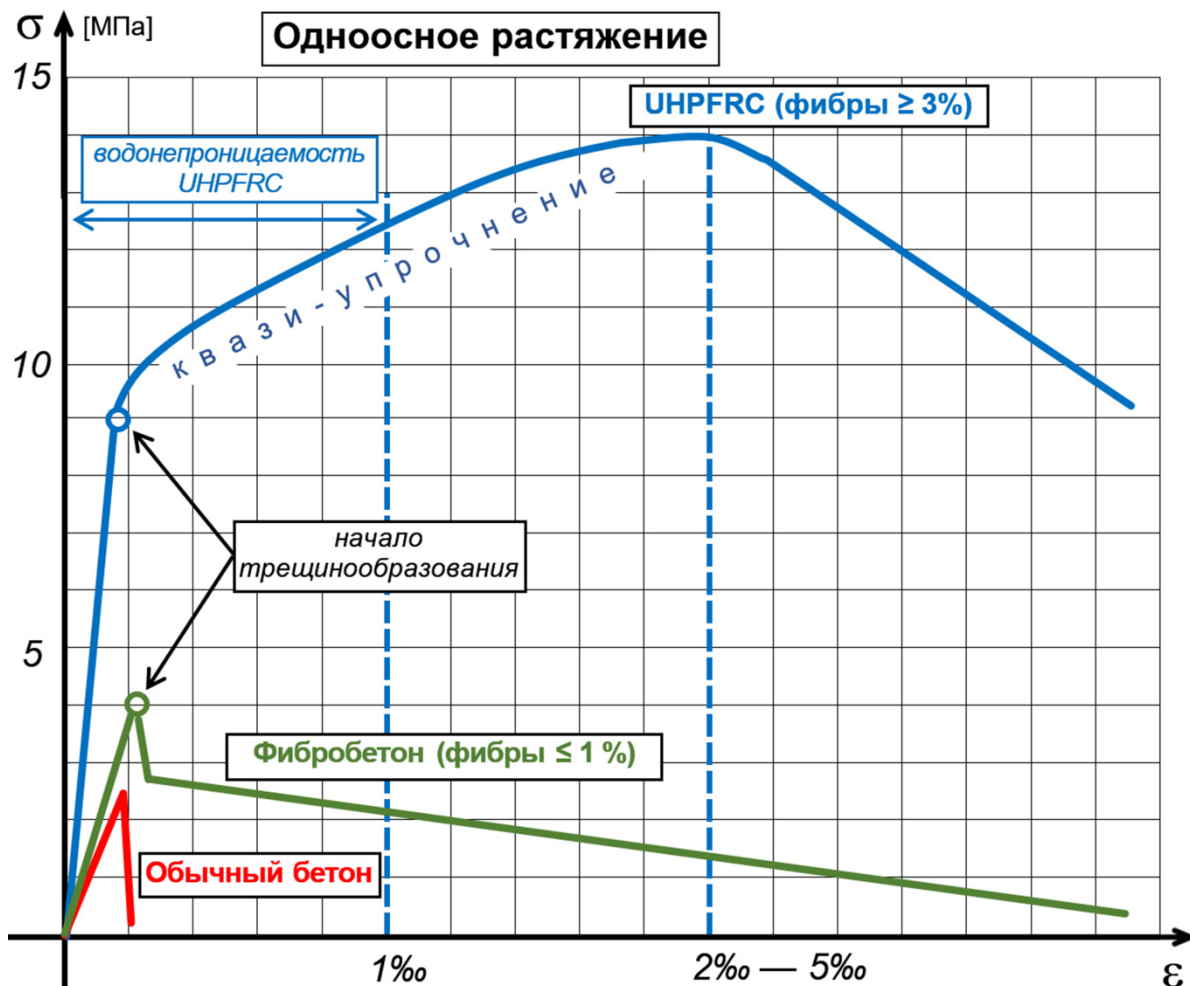


Рис. 1. Результаты испытаний фибробетонов на одноосное растяжение

Следующая секция докладов, посвященных ремонтно-восстановительным работам на эксплуатируемых подземных сооружениях, открылась докладом доктора техн. наук Д.С. Колюхова (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 теплоизоляции, 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 свидетельствуют, что категория их технического состояния в первую очередь определяется возрастом, а качеством проектно-изыскательских и строительных работ, принятыми конструктивными решениями, а также условиями эксплуатации (рис. 2).



Рис. 2. Параметры, определяющие физический износ подземных сооружений

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 повреждений 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

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).



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

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.

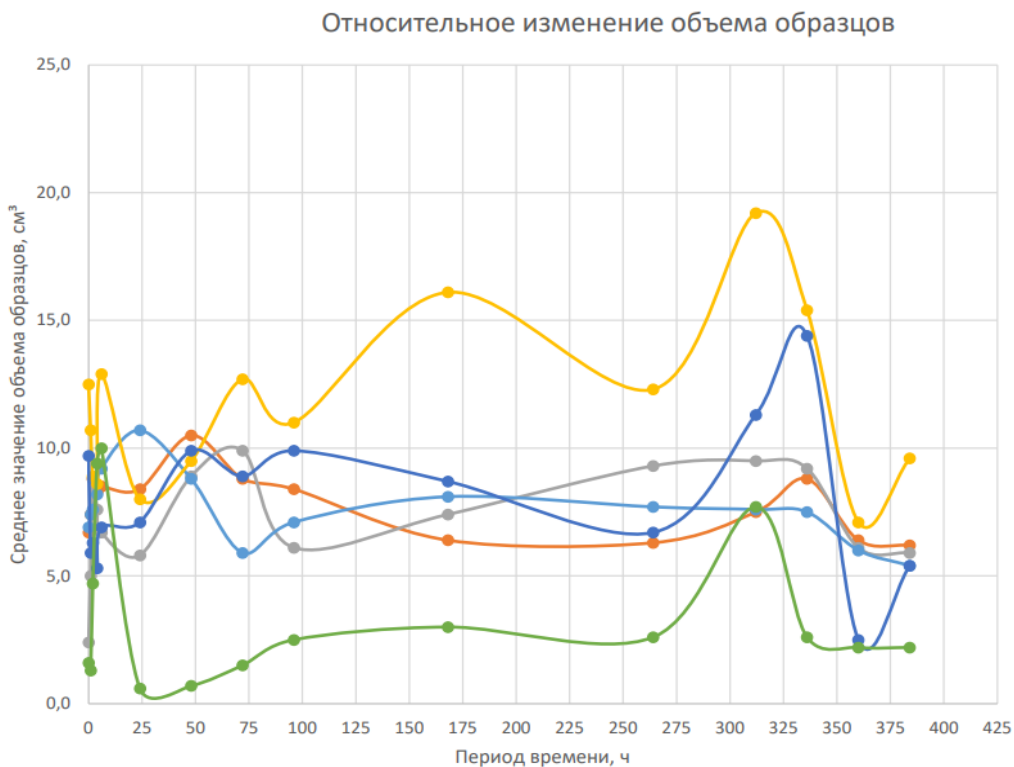


Рис. 4. Относительное изменение объема образцов при замачивании исследуемых материалов в воде

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, характеристики 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 имеет место быть 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. Глущенко (ООО «РУСИНЖЕКТ»), включая:

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



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

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 надёжности 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 приведён сравнительный анализ инъекционных смесей на минеральной и полимерной основе (табл. 2).

Табл. 2.

### **Эффективные области применения инъекционных систем**

Системы на минеральной основе

Системы на полимерной основе

- ликвидация разуплотнений в заобделочном пространстве
- упрочнение структуры грунта в зоне влияния тоннельных сооружений
- устройство вертикальных и горизонтальных противодиффузионных завес
- инъекция в трещины каменных, бетонных и железобетонных конструкций для восстановления их конструктивного качества
- инъекция в нарушенную структуру бетонных и каменных конструкций
- заделка трещин изнутри тоннеля при активном водопроявлении

- ликвидация активных водопроявлений с последующим ремонтом дефектов минеральными композициями
- восстановление водонепроницаемости деформационных швов
- ликвидация сквозного промокания капиллярно-пористую структуру каменных, бетонных и железобетонных конструкций
- защита арматуры от развития коррозионных процессов

Целесообразно применять комбинированные системы: на полимерной основе - для ликвидации активных водопроявлений; на минеральной основе – для упрочнения и восстановления эксплуатационной пригодности подземных сооружений

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 изготавливаются на основе общестроительных и специальных цементов, микроцементов, бентонитов, композиционных вяжущих в виде цементно-бентонито-силикатных смесей, смесей на основе сульфоалюминатов кальция, а также смесей на основе коллоидного кремнезёма.

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 – 1 рабочий день
- прогнозируемая стоимость ремонта;



Табл. 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

Результаты научно-исследовательской деятельности по анализу водопроявлений в высокоточной железобетонной обделке метрополитенов, ведущиеся на кафедре СПСиГП НИТУ «МИСИС» были доложены А.Р. Попониным («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 был сформирован 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).

Табл. 4.

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

Участок	Тоннель, проходческий щит	Количество обследованных колец	Количество водопроводов (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%

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 Минске над действующими тоннелями первой линии Минского 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 бурошнековое бурение для минимизации просадок поверхности грунта и вместе с ним конструкции 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.

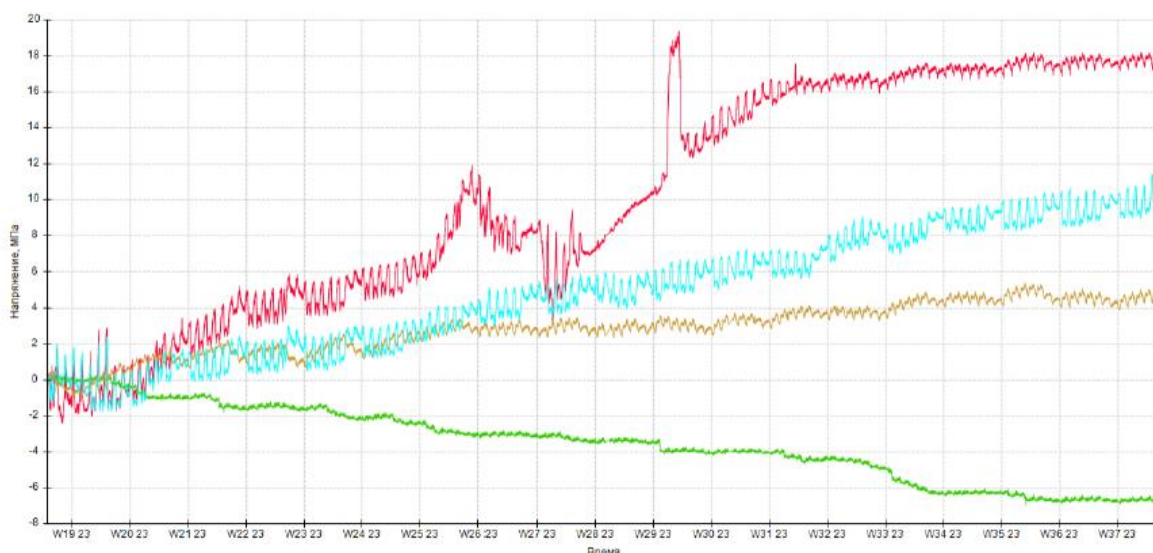


Рис. 6. Показание струнного тензометра Csibim SVW в системе постоянного дистанционного мониторинга строительства подземного пешеходного перехода под просп. Независимости в Минске

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 буросекущихся свай, пересекающих слой водонасыщенных песков и заглубленных в глины. В местах пересечения буросекущихся свай, для увеличения водонепроницаемости их стыков предполагалось изготовление одного ряда jet-элементов диаметром 0,6 м от кровли глины до УГВ по однокомпонетной технологии. Работы на опытном участке не показали удовлетворительную сплошность такого решения, вследствие чего были приняты jet-элементы диаметром 1,0 м, изготавливаемые по технологии jet-2 и расположенные в 2 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. 6). 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.



Рис. 6. Выход керна без песчаных прослоев на опытном участке при строительстве станции «Крымская» Московского метрополитена

О технологии усиления грунтов методом инъектирования 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 «НИЦ «Строительство» - НИИОСП им. Н.М. Герсеванова), где рассматривался учет возможных дополнительных осадок, 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 буросекущихся свай, а также изготовлении анкеров, усилении фундаментов буроинъекционными 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;
- усадкой бетона при твердении.

Табл. 5.

### Технологические осадки от устройства стены в грунте в различных инженерно-геологических условиях

Расположение объекта	Оригинальное название объектов 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 осадков, мм	Тип инженерно-геологических условий (ИГУ)	
Великобритания, Лондон и его окрестности	New 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 Falloden 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, Бостон	South Cove	24,4	0,9	1,6–9,8	0–5,1	1	
Норвегия, 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, Каир	Многоэтажное здание	21,0	0,6	1,8–14,4	0,4–8,6		
Россия, 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, Сучжоу	Subway Station	48,0	1,0	1,0–10,0	7,0–27,0		
Россия, Санкт-Петербург	Зоологический пер., д. 2-4	н/д	0,8	1,5–52,0	0–26,0		
	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

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 УГПС МЧС России). Как отметил докладчик, обеспечение пожарной безопасности является важной задачей как проектировщика, так и лиц, эксплуатирующих здания и сооружения метрополитенов (рис. 7).



Рис. 7. Экспериментальные исследования пожара в действующем тоннеле метрополитена

Действующая система технического регулирования, на различных этапах жизненного цикла метрополитенов, устанавливает основополагающие направления обеспечения 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 исследований 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 доказательства 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 метрополитена. 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 в зависимости 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. 8). Докладчиком показана возможность анализа, прогнозирования и оценки эффективности принятых объемно-планировочных решений комплексным подходом с использованием передовых методов моделирования процессов.

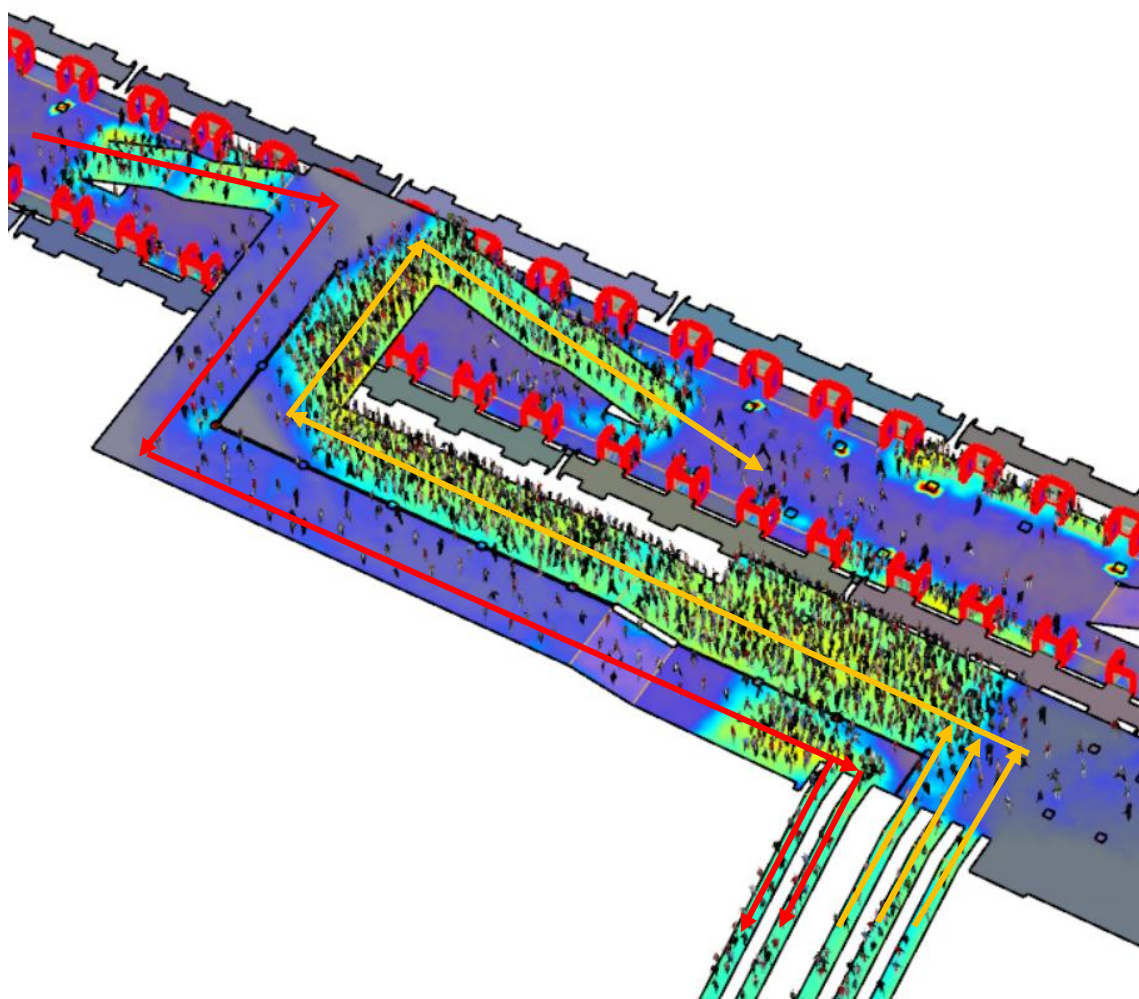


Рис. 8. Имитационная модель движения пассажиров на станции метрополитена

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. Бебенина (ООО «РУСИНЖЕКТ»), поделившегося со слушателями опытом усиления грунтов основания внутри функционирующего здания большой площади, построенного на территории бывшего полигона для захоронения бытовых отходов. Работы осложнялись рядом факторов:

1. 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 были приготовлены гибкие гофрированные рукава по диаметру скважины, чтобы в случае значительного выхода газа обеспечить газоотвод за пределы здания.



2. 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 В.Е. 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. 9).

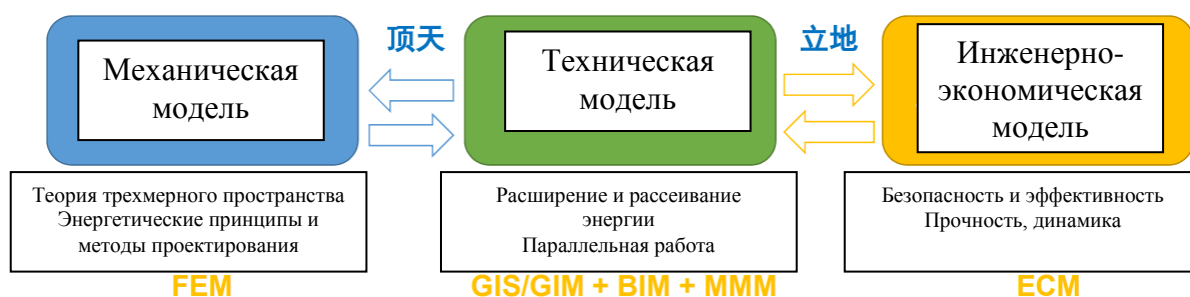


Рис. 9. 3-D теория устойчивости подземного пространства и технологии её обеспечения

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. 10):

*На этапе ПИР:*

- создание цифровой информационной модели;
- наполнением модели данными о проектных решениях;
- присвоение элементам модели атрибутов;
- устранение коллизий и дублирования информации;
- подготовка 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 модель объекта «as-built» в качестве исходных данных для системы ТОИР в соответствии с международными стандартами.



Рис. 10. Калининско-Солнцевская линия. Цифровая модель станционного комплекса «Внуково»

Вслед за ним, проф. Чжан Чжиго (Китайская компания по производству оборудования для железных дорог) рассказал о разработке и перспективе производства ТПМК с гидропригрузом забоя большого диаметра (рис. 11).

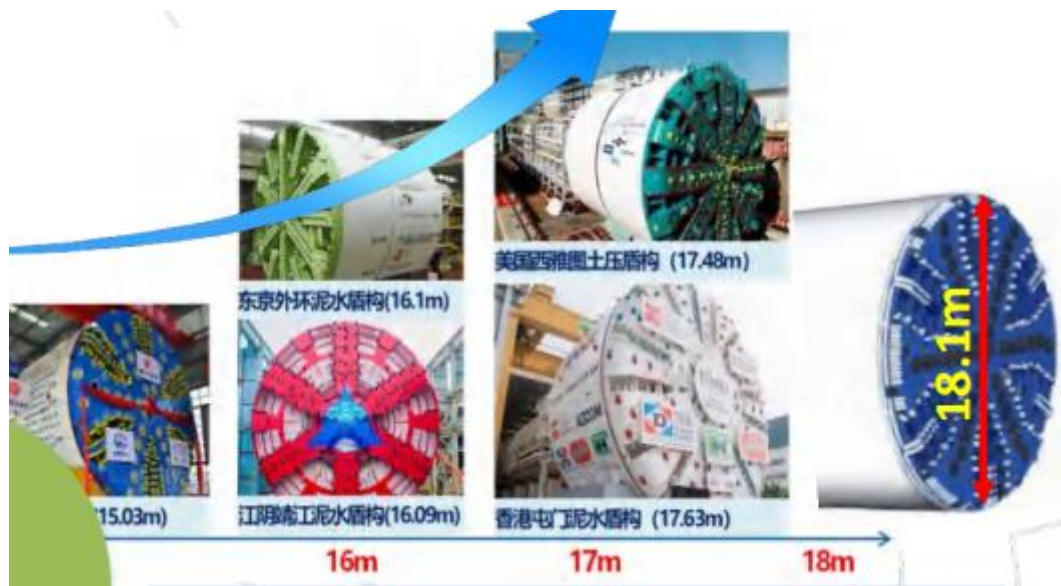


Рис. 11. Щиты большого диаметра, производимые на заводах КНР

Задача об устойчивости грунта над выработкой при уступном способе проходки рассмотрена в докладе доктора техн. наук К.В. Королева, канд. техн. наук Г.Н. Полянкина, 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 горным 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.

Табл. 6

**Результаты огневых испытаний блоков обделки под нагрузкой**

№	Испытанный образец	Время испытаний, мин.	Взрывообразное разрушение
1	Блоки тоннельной обделки 3055 (по оси)×700×250 мм	95	Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя
2	Блоки тоннельной обделки 2984(по оси)×1400×300 мм	95	Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры
6	Блоки тоннельной обделки 5250(по наружной стороне)×1800×450 мм	95	Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры
7	Блоки тоннельной обделки диаметром 6,0/5,4 м (Дн/Дв)	95	Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя
8	Блоки тоннельной обделки 4250(по оси)×1800×450 мм	90	Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры
9	Блоки тоннельной обделки 1714×1014×200 мм	180	Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя

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, ТПМК 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, 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 закреплений, 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. 12). 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.

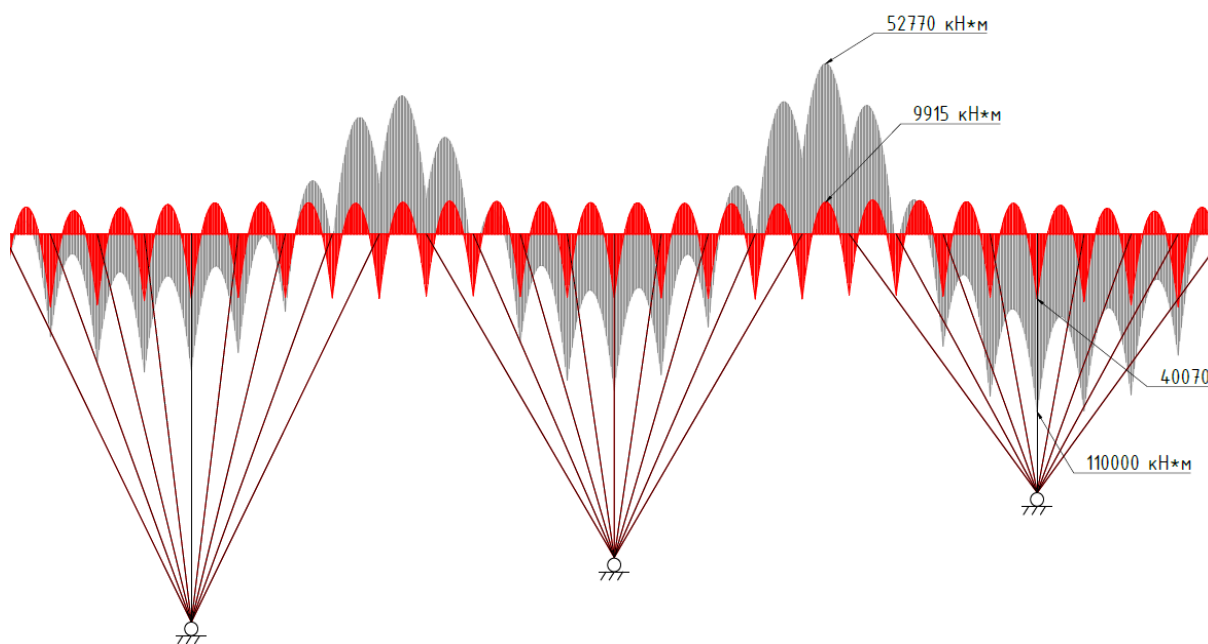


Рис. 12. Оптимизация веерной схемы по критерию минимума моментов

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

- транспортное средство (рис. 13)

- 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;
- система видимого обнаружения, включающая 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;
- идентификация дефектов и повреждений тоннельных конструкций и автоматический вывод отчетов о результатах обработки данных.



Рис. 13. Интеллектуальное комплексное оборудование для обследования тоннелей

Закончился день докладом О.О. Шелгунова (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»), рассказавшего о перспективах проектирования и сооружения тоннелей на высокоскоростных железнодорожных магистралях (рис. 14).

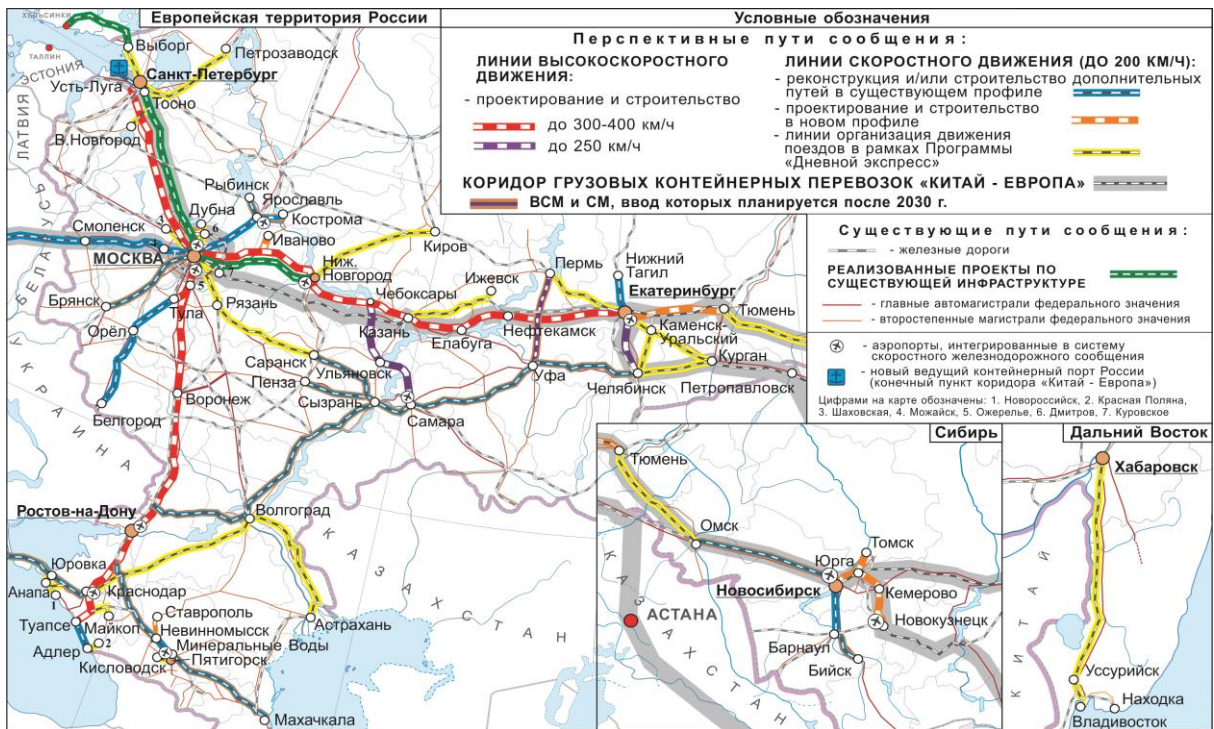


Рис. 14. Перспективные скоростные и высокоскоростные линии России

Докладчик отметил, что согласно паспорту государственной программы «Развитие транспортной системы», федеральному проекту «Развитие высокоскоростных железнодорожных магистралей» следует приступить к проектированию высокоскоростной специализированной железнодорожной магистрали (ВСМ) СанктПетербург - 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 Правления ТАР за активное участие в работе Тоннельной ассоциации.