

Подземные горизонты

Underground Horizons

Май

№37

2024

www.techninform-press.ru

АТЛАНТ

www.anker-system.ru
info@anker-system.ru
+7 342 258 42 02

MALININ
GROUP



АНКЕРНЫЕ
СИСТЕМЫ

ЛЮДИ & ВРЕМЯ

Александр Ледаев о себе, тоннельной науке
и практике



Стр. 4

МЕТРОПОЛИТЕНА

Анализ ситуации и пути решения проблем развития
метрополитена в Санкт-Петербурге



Стр. 14

ТОННЕЛИ

Механизированные щитовые комплексы
для проходки тоннелей некруговой формы



Стр. 31



акционерное общество

НЬЮ ГРАУНД

С нами строить легко!

• Строительство

- подземные парковки
- гидротехнические сооружения
- новые территории

- Усиление фундаментов и оснований
- Геомассив
- Выполнение работ на объектах культурного наследия
- Усиление грунтов и оснований на мерзлых грунтах
- Проектирование подземных частей зданий и сооружений

подземный паркинг

ограждение котлованов

стена в грунте

закрепление грунтов

Контакты:
614081, г. Пермь,
ул. Кронштадтская, д. 35
тел.: +7 (342) 236-90-70 (многоканальный)
+7 (342) 236-90-64
Office@new-ground.ru
www.new-ground.ru

Москва (495) 643-78-54
Ижевск (3412) 56-62-11
Казань (843) 296-66-61
Нижний Новгород (831) 410-68-66
Уфа (917) 378-07-48
Самара (912) 059-30-83
Краснодар (861) 240-90-82

Ростов-на-дону (863) 311-36-36
Крым (978) 939-38-33
Санкт-Петербург (812) 923-48-15
Тюмень (3452) 74-49-75
Екатеринбург (912) 059-30-83
Красноярск (391) 203-68-20
Новосибирск (383) 286-12-83



Журнал «ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»

Официальный информационный партнер:

- Комитета по освоению подземного пространства НОСТРОЙ
- Объединения подземных строителей и проектировщиков
- Международной Ассоциации Фундаментостроителей

№37 май/2024

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-57244 от 12.03.2014

Учредитель Регина Фомина

Издатель ООО «Техинформ»

Генеральный директор Полина Богданова

РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор:

Регина Фомина (info@techinform-press.ru)

Выпускающий редактор:

Сергей Зубарев (sz-fsr@yandex.ru)

Дизайнер, бильд-редактор

Лидия Шундалова (art@techinform-press.ru)

Руководитель службы информации

Людмила Ковалевич

kovalevichl@mail.ru

Корректор:

Инна Спиридонова

ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

В.Н. Александров, Почетный гражданин Санкт-Петербурга

С.Н. Алпатов, генеральный директор Объединения подземных строителей и проектировщиков, президент Российского общества по внедрению бестраншейных технологий

Андреа Беллоккьо, руководитель проектов компании Rocksoil S.p.A (Италия)

А.И. Брейдбурд, президент МАС ГНБ, генеральный директор ООО «Нефтегазспецстрой»/ГК «ЮНИРУС»

В. А. Гарбер, д.т.н., главный научный сотрудник НИЦ «Тоннели и метрополитены» АО «ЦНИИС»

С.В. Кидяев, первый вице-президент АО «Объединение «ИНГЕОКОМ»

А.П. Ледяев, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Тоннели и метрополитены»

К. Н. Матвеев, председатель правления Общероссийской общественной организации «Тоннельная ассоциация России» (ТАР), первый заместитель генерального директора АО «Мосинжпроект»

М.Е. Рыжевский, к.т.н., президент компании MTR Ltd

В.М. Улицкий, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Основания и фундаменты» ПГУПС Императора Александра I

А.Г. Шашкин, генеральный директор ООО «ПИ «Геореконструкция», доктор геолого-минералогических наук, член президиума РОМГГФ, член Совета по сохранению и развитию территорий исторического центра Санкт-Петербурга, координатор Санкт-Петербургской комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям

Тел.: (812) 905-94-36, +7-931-256-95-77, +7-921-973-76-44
office@techinform-press.ru
www.techinform-press.ru

Установочный тираж 8 тыс. экз. Цена свободная.
Отпечатано в типографии «Премиум Пресс», г. Санкт-Петербург, ул. Оптиков, д. 4
www.premium-press.ru

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет. Сертификаты и лицензии на рекламируемую продукцию и услуги обеспечиваются рекламодателем. Любое использование опубликованных материалов допускается только с разрешения редакции.

Информационное сотрудничество: Интернет-портал undergroundexpert.info

Подписку на журнал можно оформить по телефону

+7 (931)-256-95-77 и на сайте www.techinform-press.ru



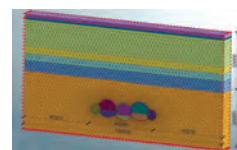
СОДЕРЖАНИЕ



СТР. 4–8



СТР. 10–13



СТР. 14–18

ЛЮДИ & ВРЕМЯ

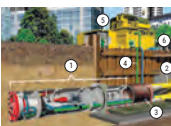
- 4 Александр Ледяев
о себе, тоннельной
науке и практике

МЕТРОПОЛИТЕНЫ

- 10 С. Н. Алпатов,
Е. А. Ломакин.
Анализ ситуации
и пути решения проблем
развития метрополитена
в Санкт-Петербурге
- 14 Ю. С. Фролов,
Е. А. Шапошников.
Объединенная
пересадочная станция
метрополитена



СТР. 20–23



СТР. 24–30



СТР. 31–33

без боковых посадочных
платформ

ТОННЕЛИ

- 16 В. Е. Русанов. Опыт
применения фибробетонов
в транспортном строительстве
- 24 Н. А. Сула. Проходка
автотранспортных тоннелей
под действующими
путями сообщения
- 31 Л. В. Маковский,
В. В. Кравченко.
Механизированные
щитовые комплексы
для проходки тоннелей
некруговой формы



80 Юбилей

Александр Петровичу Ледяеву

**Александр — так великих называли,
И в имени звучит событий мощь...**

Уважаемый Александр Петрович! Поздравляем Вас с юбилеем силы и мудрости — 80-летием доброй и чудесной жизни!

По-французски число 80 произносится как *quatre-vingts*, то есть «четырежды 20». В свои первые 20 лет Вы встали на правильный путь и пошли по нему, не боясь трудностей, преодолевая преграды, которые расставляла перед Вами жизнь. К 40 Вы — уже состоявшийся человек — успели окончить институт, поработать инженером в нашем институте «Метропроект», а затем в ЛИИЖТе, где стали молодым ученым и профессионалом. А свой 60-летний юбилей Вы встретили уже в звании доктора технических наук, профессора и заведующего кафедрой. Сегодня свою четвертую двадцатку — 80 лет достойной, красивой жизни — Вы встречаете в кругу родных, друзей, коллег. Сколько Вы сделали добра, скольким людям помогли найти свой путь в жизни! Вы тот человек, который подает пример жизнелюбия, бодрости, оптимизма. Вам присущи лучшие качества человека, мужчины, ученого, наставника! Вам интересна жизнь во всех ее проявлениях! Интеллект, юмор, коммуникабельность, доброта и искренность, а еще задорный смех и искорки в глазах — это все о Вас.

Пусть Вам хватает сил на будущие победы, а цифра в паспорте лишь отображает ваш жизненный опыт.

Александр Петрович! Желаем Вам быть абсолютно счастливым человеком, Ваше сердце пусть и дальше бьется под звуки любви, а жизнь продолжает отсчитывать чудесные дни и часы душевного тепла и отрады.

С днем рождения, господин профессор!

Вы в науке туз, величина,
Как когда-то летописец Нестор,
Так и Вы оставьте письма.
Будут изучать по ним потомки,
Будут грызть их, как гранит наук.
Достижений и побед Вам громких,
И здоровья, чтоб свершить сей славный труд!

Коллектив ОАО «Ленметрогипротранс»





АЛЕКСАНДР ЛЕДЯЕВ

О СЕБЕ, ТОННЕЛЬНОЙ НАУКЕ И ПРАКТИКЕ

Беседовала Регина ФОМИНА

ЗАВЕДУЮЩЕМУ КАФЕДРОЙ «ТОННЕЛИ И МЕТРОПОЛИТЕНЫ» ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I (БЫВШИЙ ЛИИЖТ), ЗАСЛУЖЕННОМУ РАБОТНИКУ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ РФ, ДОКТОРУ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК АЛЕКСАНДРУ ПЕТРОВИЧУ ЛЕДЯЕВУ 13 АПРЕЛЯ ИСПОЛНИЛОСЬ 80 ЛЕТ. ЭТО СОБЫТИЕ И СТАЛО ПОВОДОМ ДЛЯ НАШЕЙ БЕСЕДЫ, В ХОДЕ КОТОРОЙ ВЕДУЩИЙ ПЕТЕРБУРГСКИЙ УЧЕНЫЙ В ОБЛАСТИ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА РАССКАЗАЛ О СВОЕМ ПУТИ В ПРОФЕССИЮ, О ДОСТИЖЕНИЯХ НЕСКОЛЬКИХ МИНУВШИХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ, О СВОЕМ ВИДЕНИИ СИТУАЦИИ В МЕТРОСТРОЕНИИ И В ЦЕЛОМ О ВОЗМОЖНЫХ ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ.

ИЗ ДОСЬЕ

Александр Петрович Ледяев окончил факультет «Мосты и тоннели» Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта в 1967 году.

Заведующий кафедрой «Тоннели и метрополитены» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС, ЛИИЖТ). Доктор технических наук, профессор. Заслуженный работник Высшей школы РФ.

Основное направление научно-практической деятельности — «Разработка концепции освоения подземного пространства с учетом градостроительных особенностей Санкт-Петербурга».

Автор и соавтор более 180 опубликованных научно-методических трудов, в том числе четырех учебников, трех монографий, трех патентов и полезных моделей.

— Александр Петрович, поскольку мы общаемся с вами по поводу такого серьезного юбилея, как 80-летие, хотелось бы начать с ваших юных лет и прихода в профессию.

— Если начинать вообще с детских лет, то я был обычным ленинградским ребенком, хотя и родился в Харькове, причем во фронтовых условиях. Мой отец был летчиком, замкомандующего истребительной дивизии, в которой мама моя работала врачом. На фронте и познакомился. А поскольку оба родителя были из Ленинграда, то после войны они и вернулись сюда уже вместе со мной.

Что же касается выбора профессии, то тоннельщиков, да и вообще строителей, у меня в роду не имелось. В Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта (ЛИИЖТ) я поступил почти случайно. У нас в школе был очень спортивный класс. Я уже выступал на соревнованиях по лыжам, футболу, хоккею достаточно хорошего уровня. Так получилось, что в ЛИИЖТ тогда пригласили поступать нескольких спортсменов-футболистов, и я оказался в этой компании.

Правда, имелась и еще одна причина. Наверное, подсознательно более серьезная. Дело в том, что у отца



был двоюродный брат Николай Иванович Буль — известный кораблестроитель, руководившим довольно большим производственным предприятием, которое выпускало подводные лодки, в том числе во время войны. Я его хорошо помню, общался с ним уже во вполне сознательном возрасте перед окончанием школы. Это был очень интересный человек, удивительный инженер. Его инженерная деятельность, насколько я тогда мог в нее вникнуть, очень меня впечатлила. Да и дед мой, кстати, работавший в области авиации, тоже был замечательным инженером. В его руках буквально все, так сказать, оживало. Например, однажды собрал автомобиль «Мерседес» из разных запчастей, которые возили в свое время наши военные из Германии.

Что интересно, Николай Иванович, когда я с ним разговаривал по поводу выбора специальности, посоветовал мне идти даже не в кораблестроители, а в мостовики, сказав: «Нет ничего на Земле красивее, чем мосты. И расчеты мостов даже интереснее и намного сложнее, чем расчеты подводных лодок». Сказал вроде бы невзначай, но вот когда наши ребята, с которыми мы пошли в ЛИИЖТ вместе, разбрелись по разным специальностям, я выбрал именно мосты. И поступил.

И только потом уже узнал, что мосты и тоннели в ЛИИЖТе, да и вообще среди строителей, это привилегированная, элитная специальность. Она так и называлась: «Мосты и тоннели». Оба сооружения преследуют одну и ту же цель — пропуск транспорта через те и или иные препятствия.

Что же касается моей учебы в вузе, после второго курса надо было все-таки выбрать конкретную специализацию — мосты или тоннели, хотя в итоге выпускается инженер, который обязан уметь строить и мосты, и тоннели.

На мой выбор в итоге повлияло то, что один из циклов лекций у нас читала Ольга Ефимовна Бугаева. Она очень интересно и вдохновляюще рассказывала про тоннели, создавая особую ауру в аудитории. И я влюбился в тоннели.

Другим обстоятельством стало то, что на тоннельную специализацию в то время шли исключительно мужчины, и в нашем потоке среди них оказались самые сильные студенты. Я и настроился на объединение с этой группой, из которой потом, кстати, вышло довольно много крупных руководителей в метрополитене, метростроении. Учеба давалась мне легко, да и вообще студенческая жизнь была интересной — КВН, спорт, студотряды и т. д.

— Как началась ваша трудовая деятельность?

— После окончания института меня распределили в Ленметропроект (ныне Ленметрогипротранс). Около трех лет я работал там в конструкторском отделе. Поначалу шел туда даже с неохотой, потому что хотелось на производство. Но в итоге я очень благодарен тем годам. Как потом оказалось, школа полученных там знаний, изучение нормативных документов, умение проектировать — не как сейчас на компьютере по готовым программам, а самому, на кульмане, и своими мозгами соображать, что и как надо делать, — это было полезно и интересно. Нормативная документация тех времен, кстати, у меня сохранилась до сих пор. И даже когда я потом пришел работать в ЛИИЖТ по приглашению предыдущего заведующего кафедрой, легендарного Юрия Андреевича Лиманова, многие преподаватели со мной консультировались по практическим вопросам конструирования, проектирования, расчетов и т. п. И теперь я всем студентам советую: «Не сопротивляйтесь, если вас пригласят в проектную организацию. Это та база, на которой потом будет строиться вся ваша профессиональная карьера».

Кстати, до прихода на кафедру никогда не думал о том, что вернусь в институт преподавать. Но, как оказалось, все-таки тяга к публичным выступлениям у меня была, что раньше проявлялось при активном участии в вузовской самодеятельности, — умение держаться перед людьми, стремление донести до них свои мысли. Это давалось мне довольно легко. Что же касается практики, то тут мне тоже по жизни повезло. Первый и пока единственный тоннель, построенный методом погружных секций — на Канонерский остров, — построенный в Ленинграде, запроектирован с моим участием.

Тогда существовало Министерство транспортного строительства, и возглавлял его очень серьезный и инициативный министр Иван Дмитриевич Соснов. Он был блестящим инженером, понимал стоящие перед специалистами отрасли задачи. И вот при его мощной поддержке мы начали проектировать и строить такой тоннель новым для нас способом. Я как раз был проектировщиком конструкции. Возникало очень много



технических вопросов, по которым я общался с разными организациями по стране. Пришлось привлечь и зарубежных коллег — голландцев. В основном в тот период, когда предстояло уже опускать секции. А во время проектирования конструкций мне много приходилось общаться с кораблестроителями, потому что технологически у нас было очень много похожего. Термины, в том числе, использовались общие и для транспортировки наших секций, и для корабля.

Интересна и история непосредственно строительства. Наш ленинградский Метрострой был загружен работой в метрополитене, поэтому за это строительство взялся трест «Мостострой №6». Получился редкий случай, когда конструкцию проектировал тоннельщик, а проектирование технологии погружения секций и само строительство осуществляли мостовики. Мостовой частью занимался мой хороший друг, и, я считаю, инженер от Бога, Юрий Павлович Липкин, позднее основатель Института Гипростроймост — Санкт-Петербург. Потом в тесном сотрудничестве с ним мы работали еще на многих объектах.



Пожалуй, в живых сейчас остались только двое из тех, кто проектировал и строил этот тоннель — Юрий Павлович и я. К сожалению, этот уникальный опыт больше не был востребован по сегодняшний день. Что было дальше. Я защитил кандидатскую диссертацию на базе Канонерского тоннеля, стал доцентом ЛИИЖТа. Затем было много всяких проектов. Работал я и на БАМе, за что награжден Верховным Советом СССР медалью «За строительство Байкало-Амурской магистрали».

— Вы занимались тоннелями БАМа?

— Да. Во-первых, я выезжал туда еще со своими студенческими строительными отрядами. Как молодой преподаватель, был и командиром стройотряда. Тогда это приветствовалось. Работали там по четыре месяца. Во-вторых, поскольку я тогда уже стал, помимо доцента, начальником научной части института, а это уже была ректоратская должность, то меня назначили представителем ЛИИЖТа в специальном научно-техническом совете Ленгипротранса по вопросам строи-



тельства Байкало-Амурской магистрали. Наши многие кафедры участвовали в создании технических решений по конструкции путей, по депо, по тяговым подстанциям и т. д., в том числе по тоннелям. По совокупности работы для БАМа меня и наградили государственной медалью.

— Вы также разрабатывали и концепцию освоения подземного пространства Санкт-Петербурга. Расскажите об этом...

— Это следующий этап моей биографии, который связан с тем, что в 70-х гг. Ленсовет инициировал разработку проекта планировочной организации и освоения подземного пространства нашего города. В 1975 году подобный документ появился в Москве, решили не отставать и у нас. Занялись этим 17 организаций — научных, исследовательских, учебных и т. д. Работа была безумно интересная. Так, я познакомился с людьми, у которых в дипломе об окончании института было написано, что они специалисты по транспортному планированию. Тогда в рамках подготовки градопланировщиков было выделено направление транспортных планировщиков. Их готовили в Ленинградском инженерно-строительном институте (СПбГАСУ), но Минобрразования, к сожалению, по каким-то причинам закрыло эту специализацию. Наши попытки ее восстановить, вплоть до выхода на государственный уровень, не увенчались успехом. Что же видим сегодня? Системного и согласованного планирования развития транспортной инфраструктуры нет.

Мы в свое время провели огромную работу. Во-первых, изучили всю геологию, и полученные нами данные до сих пор актуальны — она ведь практически не изменилась за прошедшие годы. Главным проектировщиком был ЛенНИИпроект, а мы заключали с ним субподрядные договоры. Я отвечал за подземную транспортную часть. Другие товарищи — за энергетику, гаражное хозяйство и т. д. Работали очень собранно и грамотно. Моими коллегами были блестящие транспортные инженеры, обладавшие просто удивительными знаниями. Например, по оценке освобождаемой территории владели самым передовым зарубежным опытом — как принято, скажем, в Париже. Я считаю, что тогда мы были ближе и лучше теоретически подготовлены к освоению подземного пространства, чем сейчас.

Да, новые планы обсуждались и позднее. Например, рассматривался вариант строить вылетные магистрали, часть которых проходила бы под землей. К примеру, Западный скоростной диаметр предполагалось проложить, в том числе, тоннелем в районе Горного института.

Вспоминаю также одно из совещаний в Смольном по поводу возможного строительства одного из подземных сооружений. Геологи настаивали, что там очень сложные грунтовые условия и под землю углубляться опасно. На том совещании я сказал примерно следующее: «Если бы в Петербурге не существовало метрополитена и его задумали строить сейчас, нам бы это сделать не дали. Нашлись бы некие «уважаемые специалисты», которые заявили бы, что это невозможно и из-за местных грунтов, и по культурно-историческим и экологическим соображениями. Да и денег бы столько в городе не нашлось». Так что, слава Богу, при Советской власти успели построить в Ленинграде основу метрополитена, которым пользуемся сейчас и который, так или иначе, все-таки пытаемся развивать.

— А какой вам видится сегодняшняя ситуация с метрополитеном в Санкт-Петербурге? И, в целом, почему такой крупный город практически не развивается в плане освоения подземного пространства?

— Прежде всего, здесь нет технических вопросов. Это не инженерная ситуация. И надо иметь в виду следующее. По данному направлению у нас сейчас есть фактически один активно развивающийся город — Москва, которая является лицом нашей страны. Мы видим, какие объемы транспортного строительства там ведутся. Это не только метро, но и масса различных эстакад, мостов, автомобильных тоннелей. Я искренне радуюсь за нашу столицу.

При этом надо понимать, что Ленинград-Петербург всегда, в том числе при советской власти, был на вторых позициях в сравнении с Москвой. Нам и тогда



не так много доставалось, как столице. Но все-таки к метростроению в стране было системное, более продуманное отношение. Так, существовала государственная программа на 23 города-миллионника — по строительству метро в 21 городе и линий скоростного трамвая в двух. Где-то что-то успели построить, пока существовал СССР.

Регионы оказались брошенными на произвол судьбы — все их взывания к федеральному центру о помощи оказывались тщетными. В этой ситуации Петербург — уникальный и единственный город, продолжавший, хотя и в небольших объемах, строить метро в основном за счет собственных средств. Такого больше нет нигде во всем мире. Даже в США есть федеральная программа по метростроению.

Поэтому мы в Петербурге строим метро по объему на два порядка меньше, чем нужно городу для полноценного развития. И даже с эффективным освоением этих маленьких денег возникали проблемы.

Теперь создана новая метростроительная структура, у которой два хозяина — городская власть и Банк ВТБ. Однако заново, практически с нуля воссоздать такую мощную строительную организацию, как старый Метрострой, — это не просто. Рабочих и инженеров еще можно собрать заново, что отчасти и сделано. Но что произошло со спецтехникой, которая была на балансе у старого Метростроя? Теперь технику берут в аренду по мере договоренностей с его бывшими владельцами. В собственности у новой организации пока ничего, необходимого для проходческих работ, толком нет.

Заказали, например, на Путиловском заводе проходческий щитовой комплекс, но мой опыт подсказывает, что практически с нуля создать аналог лучшей техники мирового уровня не так-то просто.

Вот сейчас в Донбассе отвоевали Ясиноватую с ее знаменитым во времена СССР заводом, где делали советские проходческие комплексы. Однажды эту технику заказали даже японцы! А в Петербурге как раз ясиноватским комплексом был поставлен рекорд проходки — 1250 м в месяц. Правда, при строительстве не метро, а коллектора. Заводу в Ясиноватой, надо полагать, все-таки потребуются восстановительные работы, да и обстановка в том регионе остается беспокойной. Когда же возродится полноценное производство, первые комплексы Санкт-Петербургу могут и не достаться — на первых ролях всегда Москва.

— То есть надежд на реализацию новых масштабных проектов в ближайшие годы — например, провести метро в аэропорт Пулково и Пушкин, начать строить метрокольцо — практически нет?

— Боюсь, при моей жизни этого не будет. Чтобы достаточно быстро реализовывались подобные масштабные планы, стране в современных условиях нужен, на мой взгляд, еще один национальный проект — по созданию и развитию сети метро. В объемах хотя бы не меньших, чем предусматривалось подобной программой при Советском Союзе. И чтобы было заранее известно, какое финансирование и когда получит, в том числе, наш город. При этом речь должна идти не о 20-25 млрд в год, о которых говорится сейчас, а о больших на порядок суммах — 200–300 млрд.

— Как вы в целом оцениваете перспективы транспортного тоннелестроения в России, хотя бы теоретически?

— Я начинал заниматься наукой в то время, когда уже представлялось очевидным, что, в смысле освоения подземного пространства, «весь мир пошел вниз». Впечатляли перспективы, сколько же, теоретически, можно понастроить под землей! Раньше города развивались вширь, но в XX веке стало понятно, что и коммуникации слишком далеко тянуть проблематично, и вообще появляется дефицит свободного пространства. Начали развиваться вверх — появились небоскребы, многоярусные эстакады и т. д. Далее через несколько лет стало понятно, что и такие возможности исчерпываются. Начали развивать мегаполисы вниз, осваивать подземное пространство. Эта мировая тенденция продолжается. Но что мы видим в нашем городе? Почти ничего. Отдельно взятое метро нельзя считать освоением подземного пространства. Это не более чем автономная железная дорога.

Сейчас пришло время высоких скоростей. В России уже активно строятся скоростные автомагистрали, планируется развитие высокоскоростного железнодорожного сообщения. Николаевская железная дорога в позапрошлом веке могла пройти только по мостам. Сегодня каждая скоростная трасса, автомобильная или железнодорожная, требует все больше искусственных сооружений, причем не только мостов, которые не всегда являются более экономичным решением, но и тоннелей, в том числе под водными преградами.

Способом погружных секций в мире построено уже около 200 подводных транспортных тоннелей, причем достаточно больших — для автодорожного движения, как минимум, шестиполосных. Этот метод тоннелестроения гораздо выгоднее, чем щитовая проходка.

Так что теоретически перспективы у транспортного тоннелестроения очень большие, о чем я не устаю повторять своим студентам. Это — профессия будущего. ■



*Заведующему кафедрой
«Тоннели и метрополитены», доктору технических наук, профессору,
заслуженному работнику высшей школы Российской Федерации,
Почетному железнодорожнику,
Почетному профессору ПГУПС
Ледяеву Александру Петровичу*

Уважаемый Александр Петрович!

В день 80-летнего юбилея примите от Вашей Alma Mater — Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» и меня лично самые искренние поздравления.

Университет гордится своими выдающимися выпускниками — питомцами первого транспортного вуза страны! Вы по праву принадлежите к их славной плеяде!

В день юбилея желаю Вам крепкого здоровья, творческого долголетия, чтобы Вы, ваши ученики и последователи продолжали приумножать потенциал российской экономики, науки и образования.

С глубочайшим уважением,

Ректор ПГУПС

О.С. Валинский

АНАЛИЗ СИТУАЦИИ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

С. Н. АЛПАТОВ,

исполнительный директор Тоннельной ассоциации Северо-Запада;

Е. А. ЛОМАКИН,

ответственный секретарь Научно-технического совета Тоннельной ассоциации Северо-Запада

«СНАЧАЛА ОПРЕДЕЛИТЕСЬ СО СВОИМ ИДЕАЛОМ: ПОСТАВЬТЕ ЦЕЛЬ. ПОТОМ ЗАПАСИТЕСЬ НЕОБХОДИМЫМИ СРЕДСТВАМИ ДЛЯ ЕЕ ДОСТИЖЕНИЯ: МУДРОСТЬЮ, ДЕНЬГАМИ, МЕТОДАМИ И МАТЕРИАЛАМИ. И, НАКОНЕЦ, ИСПОЛЬЗУЙТЕ ВСЕ СВОИ СРЕДСТВА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ», — ГОВОРИЛ АРИСТОТЕЛЬ. В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ С ЦЕЛЮ ПРЕОДОЛЕНИЯ КРИЗИСА МЕТРОСТРОЕНИЯ НЕОБХОДИМОСТЬЮ ВИДИТСЯ ПРИНЯТИЕ ПРОГРАММЫ НАРАЩИВАНИЯ ТЕМПОВ РАЗВИТИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА ДО УРОВНЯ ГОРОДОВ — МИРОВЫХ ЛИДЕРОВ В ЭТОМ НАПРАВЛЕНИИ.

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СРЕДСТВА ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

В основных своих положениях программа для метрополитена была специалистами Тоннельной ассоциации Северо-Запада в письме в адрес Правительства/губернатора Санкт-Петербурга № 32 от 13.03.2019, в котором излагался анализ текущего состояния развития подземного пространства Северной столицы и давались предложения по изменению сложившейся ситуации.

Для наращивания темпов развития метрополитена до уровня городов — мировых лидеров в этом направлении необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить устойчивое развитие территории за счет комплексных проектов — симбиоза подземных и наземных объектов, а также связывающих их транспортных коммуникаций;

- управление развитием метрополитена должно вернуться к апробированной временем трехуровневой системе (в Ленинграде, задолго до Мосинжпроекта, была решена главная управленческая проблема, пусть и формальная — создание единого органа из проектировщиков, строителей и эксплуатационников); конечной целью всех управленческих решений должно быть устойчивое развитие Санкт-Петербурга на базе ускоренного развития метрополитена;

- актуализировать проект Генеральной схемы планировочной организации и использования подземного



Строительство Лахтинско-Правобережной линии.
Источник: metrostroy-spb.ru

пространства Ленинграда, одобренной 5 марта 1983 года решением Исполкома Ленсовета (далее — «Генеральная схема»).

Актуализацию необходимо провести по следующим основным направлениям:

- учесть изменения социально-экономической, демографической и градостроительной ситуации, а также достижения технической, технологической и информационной революции в обеспечении комплексных проектов;

- организовать PR-компании по продвижению комплексных проектов освоения подземного пространства на основе его опережающего развития с широким использованием разноуровневых информационных моделей, отстраиваемых еще на стратегическом этапе и непрерывно актуализируемых при реализации конкретных проектов; население должно иметь постоянную информацию о развитии подземной инфраструктуры — и метро в частности.

Результирующий, прогнозируемый результат внедрения наших предложений 2019 года был озвучен 14 июня 2023 года губернатором Санкт-Петербурга Александром Бегловым. В интервью ТАСС он сказал: «Президент России поставил четкие задачи по развитию метрополитена Санкт-Петербурга. До 2032 года нам предстоит построить 20 новых и реконструировать 12 существующих станций метро». Это практически совпадает с нашим прогнозом, но лишь при решении перечисленных выше задач. В данной связи проанализируем, что реально происходит в отрасли метростроения.

ОБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СИТУАЦИИ (ПО ОТКРЫТЫМ ИСТОЧНИКАМ)

Что сегодня представляет собой Петербургский метрополитен? Это самая загруженная система городской «подземки» в мире: учитывая число жителей города, на одну станцию приходится 75 тыс. человек. Одна станция, в свою очередь, приходится в среднем на 20 км² территорий, шаговой доступности метро нет на 80–90% городских площадей, до половины муниципалитетов оно не доходит в принципе.

На сегодняшний день система Петербургского метрополитена включает в себя 72 станции и 143 км путей. Исходя из данных Генеральной схемы, к 2000 году в городе должны были построить 159 станций и 256 км линий, а если экстраполировать эти данные на 2020 год, то — 318 станций и 512 км линий соответственно.

За 70 лет в Петербурге построили 72 станции, то есть темпы строительства составляли примерно станцию в год. За последние пять лет, однако, не открыто ни одной. Очевидно, что для такого быстро растущего мегаполиса, каким является Санкт-Петербург, это не просто мало, а катастрофически недостаточно.

Всего лишь два примера для сравнения: главный критерий комфортности метрополитена — среднее расстояние до ближайшей станции — составляет у нас на сегодня 3,2 км, что в несколько раз выше мирового показателя. Однако, если бы Генеральная схема была реализована, то к 2022 он снизился бы до 1,5 км, что соиз-



Станция метро «Автово». Автор: Peter H/Pixabay

меримо с городами-лидерами: Сингапур — 1,8 км, Вена — 1,4 км, Монреаль — 1 км, Милан — 0,9 км.

Если теперь перейти к коэффициенту востребованности метрополитена, разделив пассажиропоток (количество посещений в миллионах за год) на среднее расстояние до ближайшей станции (шаговая доступность), то получим еще более яркую характеристику нашего отставания. Санкт-Петербург — 143, Москва — 196, Сингапур — уже 503, Милан — 472, Вена — 300 и т. д. В случае же реализации Генеральной схемы наш город вошел бы в список мировых лидеров с показателем 482.

ПОЧЕМУ ТАК ПРОИЗОШЛО?

Последние годы в ОАО «Метрострой», являвшимся бессменным строителем Ленинградского, Петербургского метрополитена, работали 10 тыс. человек. Сейчас в новой строительной корпорации АО «Метрострой Северной столицы» (МССС) числится порядка 3 тыс. В годы своей деятельности старый Метрострой давал «заказы» на подготовку специалистов на 10 лет вперед, а сейчас такая работа не ведется в принципе.

Традиционно метро в Петербурге проектировал Ленметрогипротранс, все 72 станции созданы по проектам ЛМГТ. Привлечение московского института «Метрогипротранс», на наш взгляд, не дало какого-либо положительного результата. За последние 10 лет московский Метрогипротранс освоил в Санкт-Петербурге почти 6 млрд рублей, но не сдано в эксплуатацию ни одной их станции, ни один их проект не прошел госэкспертизу. За те же годы институт «Ленметрогипротранс» запроектировал, защитил в экспертизе и ввел в эксплуатацию 14 станций в Москве и пять в Санкт-Петербурге, получив за них 2,7 млрд рублей от бюджета города.

Как мы говорили ранее, проблемы начались, когда функции государственного заказчика были переданы СПб ГКУ «Дирекция транспортного строительства», для которого метростроение не является профильным. Необоснованное, на наш взгляд, снижение цены контракта, обвинения Метростроя в монополизме, проблемы с выделением участков, несвоевременная оплата выполненных работ, организационные сложности и бюрократические проволочки привели к тому, что компания с 80-летней историей была объявлена банкротом, а ее заслуги перед городом стали умалчивать, как будто их и не было вовсе.

В 2020 году создана новая компания по развитию городского метрополитена — АО «Метрострой Северной столицы» (МССС), принадлежащая городскому правительству и Банку ВТБ. По заявлениям властей, она должна была стать наследником традиций петербургского Метростроя.

Созданное с нуля и наделенное функциями единого поставщика услуг в области проектирования и строительства метро, АО «Метрострой Северной столицы» не является правопреемником ОАО «Метрострой», не имеет ни многолетнего опыта, ни собственной материально-технической базы (включая проходческое оборудование), ни необходимого количества квалифицированных кадров — как рабочих, так и ИТР.

ИСТОЧНИК НАШИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ — ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

В то же время передовой опыт, накопленный в Северной столице, говорит о высоком интеллектуальном потенциале города. Так, в конце 70-х гг. прошлого века в Ленинграде — Санкт-Петербурге, в разных отраслях естествознания, сложились три неформальные научно-исследовательские и проектные группы специалистов, понимающих, что будущее — за широким использованием информационных моделей в качестве основы понимания возникающих современных проблем и выбора, из сонма предложений, таких практических решений, которые позволяли бы реализовать новые задачи наилучшим способом.

Реализующая концепцию комплексного освоения подземного пространства на основе ускоренного развития метрополитена стратегия проектно-исследовательского управления была апробирована в рамках контракта №202 от 10.08.2009 между Комитетом по градостроительству и архитектуре Правительства СПб и ООО НПФ «Водные ресурсы» (ответственный исполни-



Станция «Театральная» Петербургского метрополитена.
Источник: «Ленметрогипротранс»

тель Е. А. Ломакин) — «Трехмерное экспертное картирование подземного пространства для целей разработки проектов планировки территорий и проектирования объектов инженерной инфраструктуры на территории Санкт-Петербурга для государственных нужд Санкт-Петербурга». Основные исполнители: ОАО «Ленметрогипротранс», Московский и Санкт-Петербургский государственные университеты, а также Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН.

Цель — выявить возможность использования информационных технологий для работы с архивными данными на этапах территориального планирования (ТП) и планировки территорий (ПТ) с последующим использованием отстроенных информационных моделей для сопровождения изысканий, проектирования, строительства и реконструкции.

Принципиальный управленческий вывод: по результатам этой работы удалось доказать, что город располагает информационными и интеллектуальными ресурсами, а также технической и градостроительной базой, необходимой для актуализации проекта 1983 года на новом качественном уровне — в рамках стратегии проектно-изыскательского управления градостроительством.

В качестве первого этапа было предложено создание, на основе накопленной архивной информации (более миллиона опробованных скважин), схемы использования подземного пространства Санкт-Петербурга для целей подземного и наземного строительства при опережающем развитии метрополитена. Срок выполнения подобной работы обозначался в 1,5–2 года. Позднее эти предложения, в актуализированном виде, были представлены специалистами Тоннельной ассоциации Северо-Запада в адрес Правительства /губернатора Санкт-Петербурга (письмо № 32 от 13.03.2019).

К ПОДТВЕРЖДЕНИЮ НА МЕЖДУНАРОДНОМ УРОВНЕ

Прямым подтверждением необходимости неотлагательного решения проблем комплексного развития подземного пространства (РГПП) Санкт-Петербурга явилось проведение в нашем городе в 2012 году Международного форума «Комплексное освоение подземного пространства мегаполисов — как одно из важнейших направлений государственного управления развитием территорий».

Заявленная цель форума: «Показать, что других альтернативных решений, кроме комплексного освоения подземного пространства, для развития городов-миллионников без ущерба для экологии и обострения транспортных и территориальных проблем не существует».

На мероприятии единодушно утверждалось, что дальнейшее устойчивое развитие российских городов требует более интенсивного освоения подземного пространства:

1. Уровень использования подземного пространства в настоящее время значительно ниже, чем позволяют современные научно-технические достижения и определяют темпы роста городов.
2. Без комплексного освоения подземного пространства городов сегодня невозможно решение экологических проблем, увеличение количества зеленых насаждений, сохранение уникальной исторической застройки и памятников архитектуры, обеспечение шаговой доступности социальнозначимых объектов в исторически сложившихся районах городов и при формировании новых территорий.
3. В настоящее время отсутствует эффективная система государственного управления в области подземного градостроительства, прежде всего в части градостроительного проектирования, единая методика оценки экономической эффективности и функциональной целесообразности



бразности строительства подземных объектов с учетом особенностей условий застройки.

Участники форума констатировали, что освоение подземного пространства мегаполисов — задача государственной важности, для решения которой необходимо: принять закон (концепцию и технические регламенты ее реализации в рамках стратегического и производственного блоков) о комплексном освоении подземного пространства мегаполисов; разработать (на основе выполнения задач стратегического блока) и принять изменения к генпланам крупных российских городов в части комплексного освоения подземного пространства; создать раздел «Градостроительное планирование подземного пространства», особенно выделив транспортную составляющую, в том числе метрополитен (комплексное использование ресурсов подземного пространства на основе опережающего развития метрополитена), который должен стать «хребтом» всей подземной инфраструктуры городов, в том числе Санкт-Петербурга.

ВЫВОД

Исходя из вышеуказанного, в 2019 году письмом в адрес Правительства/губернатора Санкт-Петербурга профессиональное сообщество предприняло еще одну попытку объективной оценки реальных трудностей и представило концептуальные построения для их преодоления. Повторим рекомендации еще раз в качестве выводов:

1. Возврат к апробированной системе управления освоением подземного пространства на основе опережающего развития метрополитена. В Ленинграде, задолго до Мосинжпроекта, была решена главная организационная проблема — создание единого органа из проектировщиков, строителей и эксплуатационников, ориентированного на освоение подземного пространства при опережающем развитии метрополитена.
2. Выполнение задач стратегического этапа. Инструмент — актуализация проекта 1983 года на новом качественном уровне. Это даст городу бурный рост инвестиций, принципиальное сокращение времени реализации соответствующих комплексных проектов, а при решении образовательных проблем — также кратное увеличение кадровых ресурсов. Есть и еще один принципиальный подход — разработка поэтапных, для Санкт-Петербурга, планов реализации конкретных комплексных проектов. ■

<https://undergroundexpert.info/>

ОБЪЕДИНЕННАЯ ПЕРЕСАДОЧНАЯ СТАНЦИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

БЕЗ БОКОВЫХ ПОСАДОЧНЫХ ПЛАТФОРМ

Ю. С. ФРОЛОВ, д. т. н., профессор;
Е. А. ШАПОШНИКОВ, ст. преподаватель
(ФГБОУ ВО «ПГУПС», кафедра «Тоннели и метрополитены»)

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ НА ЛИНИЯХ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА ДЕЙСТВУЮТ СЕМЬ ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ. ПО МЕРЕ РОСТА И РАЗВИТИЯ МЕТРО, С ВВОДОМ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ УЧАСТКОВ НА ПРОДОЛЖЕНИИ ЛИНИЙ И СТРОЯЩИХСЯ НОВЫХ, КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ. СОГЛАСНО ОТРАСЛЕВОЙ СХЕМЕ РАЗВИТИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ В БЛИЖАЙШЕЙ ПЕРСПЕКТИВЕ СЕТЬ МЕТРОПОЛИТЕНА В ГОРОДЕ НА ЛИНИЯХ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ БУДЕТ ВКЛЮЧАТЬ В СЕБЯ 31 ПЕРЕСАДОЧНЫЙ УЗЕЛ.

Проектирование пересадочных узлов на линиях глубокого заложения является сложной инженерной задачей, которая связана с поиском новых объемно-планировочных решений, учитывающих очередность строительства линий, количество путей в перегонных тоннелях в узле пересадки (два однопутных тоннеля или один двухпутный), а также инженерно-геологические условия.

К важнейшей задаче при выборе объемно-планировочного и конструктивного решений пересадочного узла следует отнести снижение отрицательного влияния подземных выработок на устойчивость вмещающего грунтового массива и снижение величины осадок дневной поверхности, особенно в районах плотной городской и исторической застройки Петербурга.

Известно, что величина осадок дневной поверхности при строительстве платформенных участков промежуточных станций метрополитена достигает 220 мм (табл. 1), а с учетом устройства переходных коммуникаций на пересадочных станциях муфта оседания превосходит эти показатели и распространяется на значительно большей территории.

За последние два десятилетия с целью минимизации осадок земной поверхности разработаны и внедрены в практику строительства Петербургского метрополитена технологии и конструкции, направленные на минимизацию осадок для плотных протерозойских (кембрийских) глин.

Включенный в «Комплексную программу совершенствования технологий сооружения и постоянных конструкций Петербургского метрополитена», перечень модернизации станционных сооружений содержит в себе решение о разработке мероприятий по минимизации осадок земной поверхности при сооружении промежу-

Таблица 1.
Осадки при сооружении станций
Петербургского метрополитена

Тип станции	Максимальная величина осадок, мм	Размеры мульды оседания, м
Пилонная	205	120
Колонная	180	100
Односводчатая	220	100
Без боковых посадочных платформ	85	—

точной станции без боковых посадочных платформ. При этом суть нового конструктивно-технологического решения заключается в разработке грунта в калотте среднего тоннеля станции на полное сечение под защитой опережающей крепи кровли и лба забоя с устройством комбинированной временной крепи из набрызг-бетона и металлических арок. Постоянная обделка верхнего свода сооружается из монолитного железобетона, стены с проемами монтируются из металло-бетонных сборных блоков. Конструктивное решение платформенного участка промежуточной станции, сооружаемой по мало-осадочной технологии, представлено на рис. 1.

В данной статье предлагается новое конструктивно-технологическое решение объединенной пересадочной станции без боковых посадочных платформ, что, по мнению авторов, соответствует «Комплексной программе совершенствования технологий сооружения и постоянных конструкций Петербургского метрополитена».

Строительство сложного комплекса подземных сооружений пересадочного узла связано со значительны-

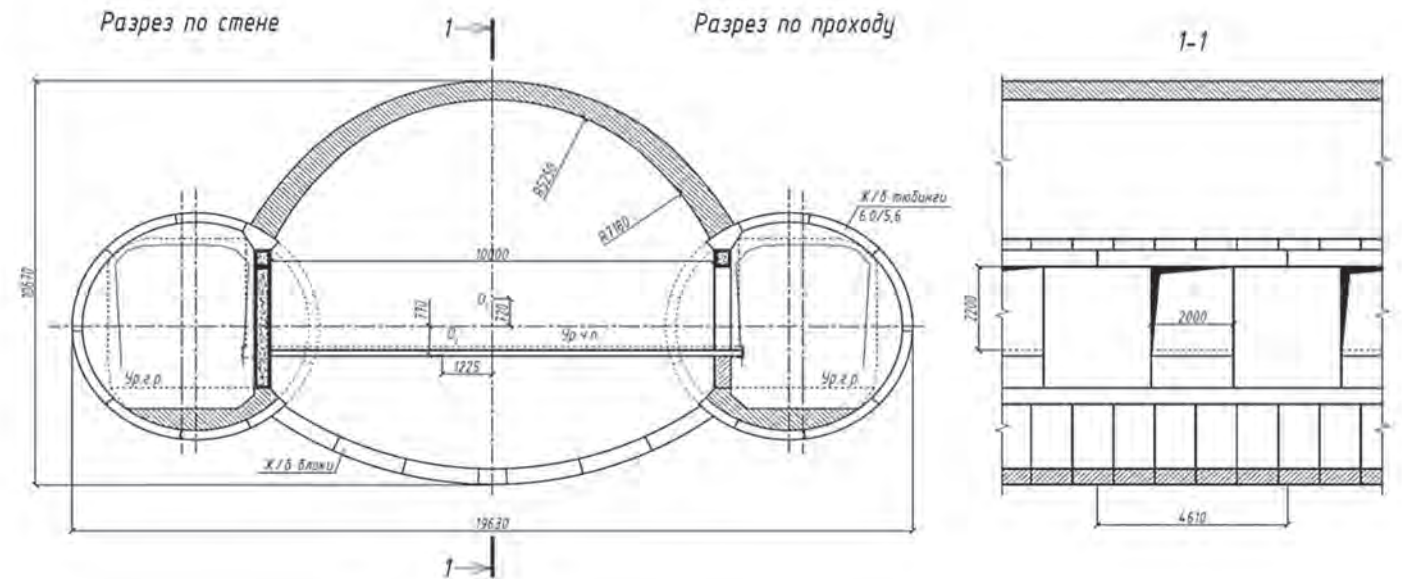


Рис. 1. Конструктивное решение платформенного участка станции метрополитена без боковых посадочных платформ

ми материальными и трудовыми затратами, поэтому к их проектированию предъявляют особые требования. Это относится как к объемно-планировочному решению сооружения и к конструкциям входящих в него станций, так и к расположению и типу переходных коммуникаций, связывающих станции между собой.

При всем многообразии возможностей организации пересадок на линиях метрополитена пересадочные узлы можно разделить по объемно-планировочному решению и по схемам пересадки. Объемно-планировочное решение пересадочного узла возможно в двух вариантах:

- две и более станции, соединенные пересадочными коммуникациями;
 - одна объединенная пересадочная станция, в которой расположены платформы всех пересекающихся в узле линий.
- При любом варианте пересадка между станциями может быть организована по двум различным схемам:
- пересадка с платформы станции, обслуживающей пути одной линии, на платформу станции, обслуживающей пути другой линии;
 - пересадка на платформах, обслуживающих пути различных направлений, или так называемая пересадка по совмещенной схеме.

Классификация пересадочных узлов на линиях метрополитена представлена на рис. 2.

В случае пересечения линий под острым углом при доминировании пассажиропотоков в попутном направлении наиболее целесообразным является вариант организации пересадки по совмещенной схеме. Учитывая,

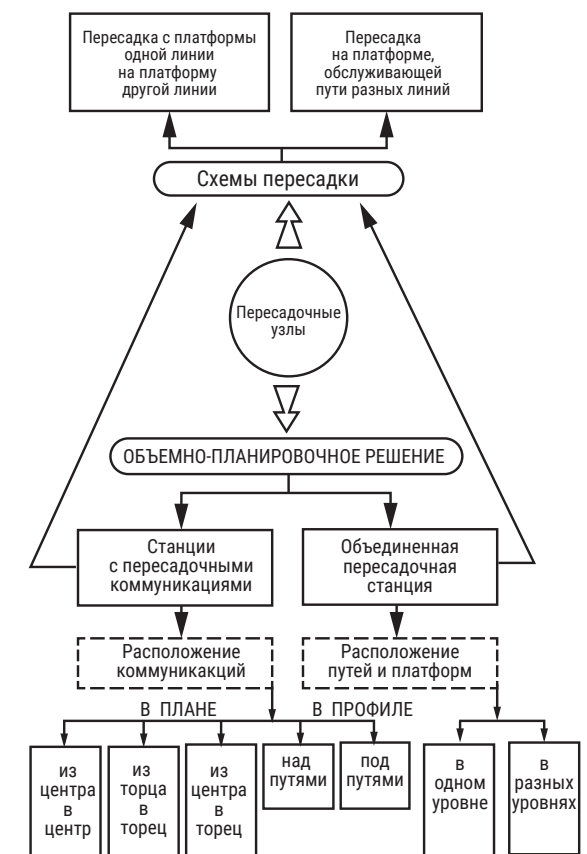


Рис. 2. Классификация пересадочных узлов на линиях метрополитена

что в настоящее время проходка перегонных тоннелей метрополитена ведется как проходческими щитами, предназначенными для сооружения однопутных перегонных тоннелей, так и проходческим щитом большого диаметра, предназначенным для сооружения двухпутных перегонных тоннелей при пересечении линии с одним двухпутным перегонным тоннелем и линии с двумя однопутными перегонными тоннелями также целесообразно организовать совмещенную схему пересадки. (Проходка двухпутных перегонных тоннелей щитами большого диаметра была применена при строительстве тоннеля на Фрунзенском радиусе Петербургского метрополитена — от станции «Проспект Славы» до станции «Шушары» и тоннеля Невско-Василеостровской линии от станции «Зенит» («Новокрестовская») до станции «Беговая».)

Предлагаемое новое конструктивно-технологическое решение объединенной пересадочной станции без боковых посадочных платформ разработано для случая пересечения линии с одним двухпутным перегонным тоннелем и линией, пройденной двумя однопутными тоннелями. Все путевые тоннели станции сооружаются транзитной проходкой щитовыми механизированными комплексами перегонных тоннелей. Таким образом, в состав обделок путевых тоннелей станции включены элементы обделок перегонных тоннелей. Проходческие работы по сооружению платформенных участков станции предлагается вести с применением опережающей крепи кровли и лба забоя с обделкой из монолитного бетона.

Применение предлагаемой технологии позволит сократить время сооружения пересадочного узла, максимально механизировать проходческие работы и минимизировать осадки дневной поверхности.

Предлагаемое конструктивное решение, реализуемое по данной технологии, представлено на рис. 3.

Внедрение в практику тоннелестроения новых технологических и конструктивных решений требует прове-

дения комплекса всесторонних научных исследований. Как известно, одним из наиболее значимых факторов при оценке строительства подземных сооружений является влияние на существующие на поверхности здания и сооружения. Поэтому на первом этапе, по мнению авторов, необходимо провести исследование осадок дневной поверхности, возникающих как при сооружении объединенной пересадочной станции по предлагаемой технологии, так и при сооружении пересадочного узла, состоящего из двух станций, соединенных пересадочными коммуникациями, и провести сравнительный анализ с натурными данными, полученными при сооружении пересадочных узлов в Петербурге.

Для достижения поставленной цели проведен комплекс расчетно-теоретических исследований, численный анализ на математических конечно-элементных 3D-моделях в программном комплексе Midas GTS NX. Общий вид моделей представлен на рис. 4 и 5.

Конечно-элементная модель грунтового массива, вмещающая конструкцию объединенной станции, имеет ширину около 120 м (назначена исходя из пролета станции около 40 м), глубину около 20 м (исходя из необходимости моделирования типового участка станции по длине) и высоту 62 м (назначена исходя усредненных инженерно-геологических условий города Санкт-Петербург, высоты станции около 10 м и технологического слоя грунта в кровле выработки, который по опыту проектирования был принят 10 м).

Конечно-элементная модель грунтового массива, вмещающая в себя конструкции пересадочного узла, состоящего из двух станций, имеет ширину около 103 м (назначена исходя из пролетов станций около 20 м и расстояния между станциями равного пролету). Глубина и высота модели были назначены аналогично первой задаче.

Модели представляли собой сетку конечных элементов, со сгущением вблизи конструкции станций (рассто-

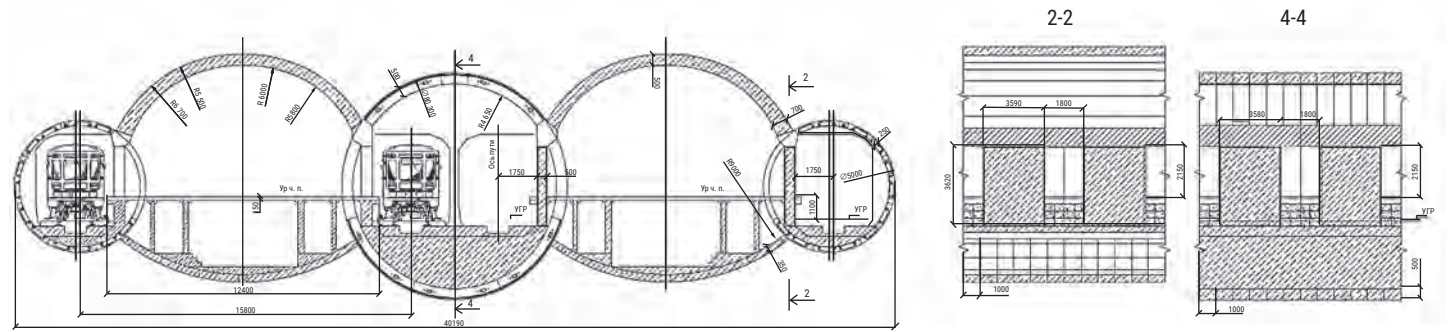


Рис. 3. Конструктивное решение платформенного участка объединенной пересадочной станции без боковых посадочных платформ

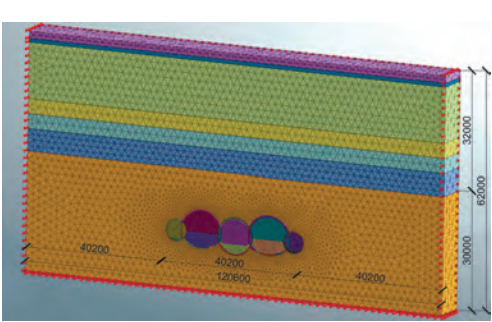


Рис. 4. Общий вид модели объединенной пересадочной станции

яние между узлами на границах моделей — 1 м, у станций — 0,25 м). Грунтовой массив, обделки перегонных тоннелей, разделительные стены и обделки верхнего и обратного сводов среднего станционного тоннеля моделировались объемными 3D-элементами. Работа шарнирных стыков в блочных обратных сводах средних станционных тоннелей моделировалась разрывом секток в стыках при помощи интерфейсных элементов. Граничные условия задавались запретами перемещений по боковым граням массива.

Для описания физико-механических свойств материалов обделок и стен применялась упругая линейно деформируемая модель грунтового массива — модель Мора-Кулона. Сечения обделок и стен задавались прямоугольными эквивалентной жесткости.

Грунтовой массив сложен слоями: протерозойских (кембрийских) глин с характеристиками: модуль деформации $E = 200000 \text{ кПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$, объемный вес $\gamma = 21 \text{ кН/м}^3$, сцепление $C = 80 \text{ кПа}$ и угол внутреннего трения $\varphi = 23^\circ$; перемятых глин и четвертичных отложений. Для железобетонных элементов конструкции станции — верхних сводов, обратных сводов и обделок путевых тоннелей — были приняты характеристики, соответствующие бетону класса В30 (модуль упругости $E = 32\,500\,000 \text{ кПа}$; коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$; объемный вес $\gamma = 24 \text{ кН/м}^3$). Для стальных стен с проемами коробчатого сечения были приняты следующие характеристики: модуль упругости $E = 210\,000\,000 \text{ кПа}$; коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; объемный вес $\gamma = 78 \text{ кН/м}^3$).

При моделировании помимо конструктивных элементов также была учтена стадийность сооружения, оказывающая влияние на напряженно-деформированное состояние системы «станция — грунтовой массив».

Для объединенной пересадочной станции метрополитена:

- 0 этап (предварительный) — моделирование грунтового массива для создания начального поля напряжений

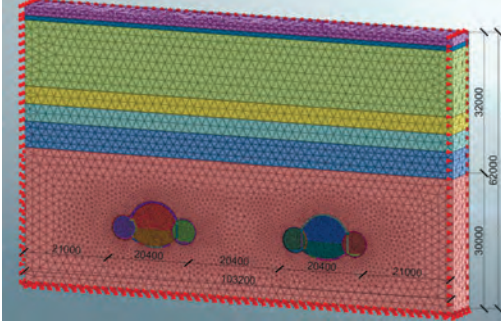


Рис. 5. Общий вид модели пересадочного узла, состоящего из двух станций

и учета «исторических» деформаций грунтового массива, с последующим обнулением этих перемещений;

- I этап — проходка центрального двухпутного путевого тоннеля с одновременным монтажом обделки и внутренних несущих конструкций;

- II этап — проходка боковых однопутных путевых тоннелей с одновременным монтажом обделок и внутренних несущих конструкций;

- III этап — параллельная проходка верхних калоттных частей средних станционных тоннелей с устройством монолитных верхних сводов;

- IV этап — параллельная разработка штросс средних станционных тоннелей с монтажом блочных обратных сводов и демонтажом тубингов и блоков временного заполнения путевых тоннелей.

Для пересадочного узла, состоящего из двух станций метрополитена:

- 0 этап (предварительный) — моделирование грунтового массива для создания начального поля напряжений и учета «исторических» деформаций грунтового массива, с последующим обнулением этих перемещений;

- I этап — проходка путевых тоннелей первой станции с одновременным монтажом обделок и внутренних несущих конструкций;

- II этап — проходка верхней калоттной части среднего станционного тоннеля первой станции с устройством монолитного верхнего свода;

- III этап — проходка штроссы среднего станционного тоннеля первой станции с монтажом блочного обратного свода и демонтажом тубингов и блоков временного заполнения путевых тоннелей;

- IV этап — проходка путевых тоннелей второй станции с одновременным монтажом обделок и внутренних несущих конструкций;

- V этап — проходка верхней калоттной части среднего станционного тоннеля второй станции с устройством монолитного верхнего свода;

— VI этап — проходка штроссы среднего станционного тоннеля второй станции с монтажом блочного обратного свода и демонтажом тубингов и блоков временного заполнения путевых тоннелей.

По результатам численного анализа на математических конечно-элементных 3D-моделях в программном комплексе Midas GTS NX было установлено, что максимальная величина осадок дневной поверхности по завершению проходческих работ составляет 44 мм и 37 мм для объединенной станции и пересадочного узла из двух станций соответственно. Изополя вертикальных перемещений представлены на рис. 6, 7.

Также по результатам моделирования была проведена оценка развития мутьды оседания дневной поверхности с учетом стадийности сооружения. Ширина мутьды оседания для объединенной станции составила 130 м, для пересадочного узла из двух станций — 220 м. На рис. 8, 9 представлены мутьды оседания дневной поверхности с учетом стадийности сооружения для объединенной станции и пересадочного узла из двух станций соответственно.

Согласно натурным данным, максимальные осадки при сооружении пересадочного узла «Технологический институт», включающего в себя две параллельные станции (рас-

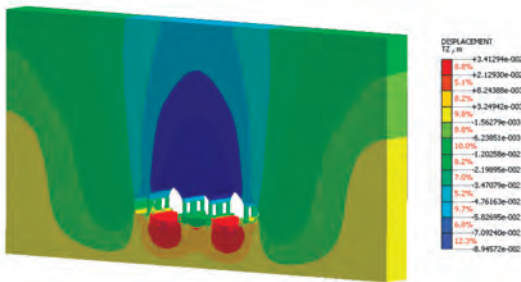


Рис. 6. Изополя вертикальных перемещений при сооружении объединенной станции, мм

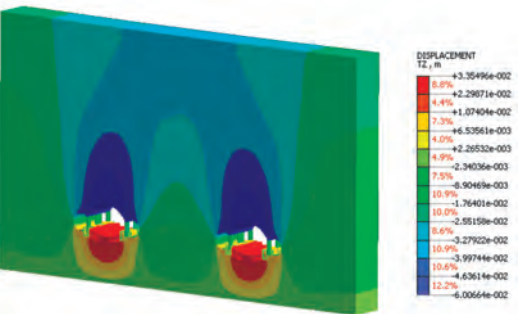


Рис. 7. Изополя вертикальных перемещений при сооружении пересадочного узла из двух станций, мм

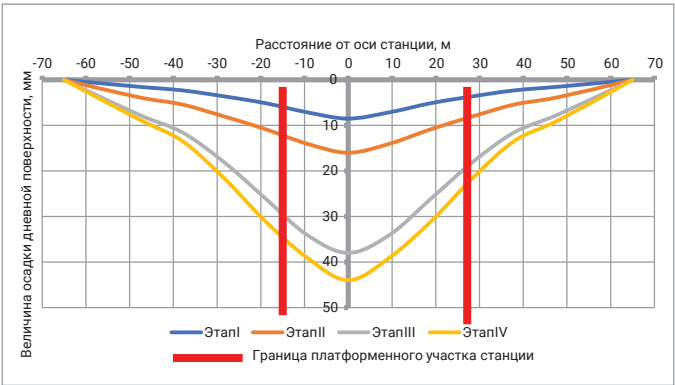


Рис. 8. Развитие мутьды оседания дневной поверхности при сооружении объединенной станции

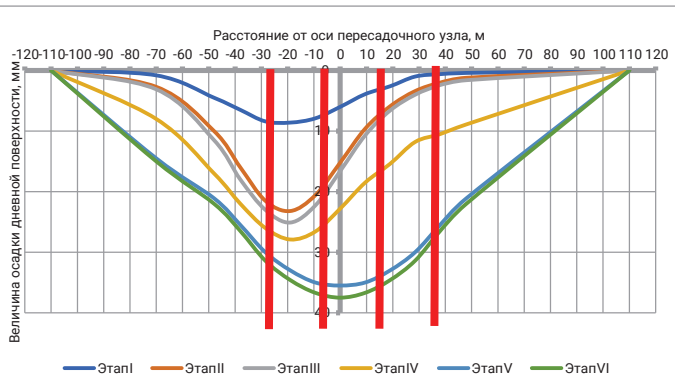


Рис. 9. Развитие мутьды оседания дневной поверхности при сооружении пересадочного узла из двух станций

положенные на расстоянии, близком к пролету станции) составили 120 мм с шириной мутьды оседания 150 м.

По результатам исследования установлено, что конструктивно-технологическое решение объединенной станции без боковых посадочных платформ позволяет уменьшить осадки дневной поверхности на 63% и величину мутьды оседания на 13% по сравнению с пересадочным узлом «Технологический институт». Соответственно полученные данные свидетельствуют о целесообразности предлагаемого конструктивно-технологического решения при пересечении линии с двумя однопутными тоннелями с линией в двухпутных тоннелях.

Дальнейшие исследования будут направлены на детальный анализ геомеханических процессов в системе «станция — грунтовый массив» при сооружении объединенной пересадочной станции по предлагаемой технологии и при сооружении пересадочного узла, состоящего из двух станций, с учетом особенностей временного крепления, применяемого при проведении проходческих работ. ■

СТТ ЭХРО

ОСНОВА ВАШЕГО УСПЕХА

Главная выставка строительной техники и технологий в России

28–31 мая 2024

Крокус Экспо, Москва



Разделы выставки:

- Строительная техника и транспорт
- Производство строительных материалов
- Добыча, обогащение и транспортировка полезных ископаемых
- Запчасти и комплектующие для машин и механизмов. Смазочные материалы



ctt-expo.ru

Организатор

SIGMA
EXPO

При поддержке

Крокус Экспо
Международный выставочный центр

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОБЕТОНОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В. Е. РУСАНОВ,
к. т. н., генеральный директор ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЯВЛЯЕТСЯ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ СНИЗИТЬ СТОИМОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ, ПОВЫСИТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ, УМЕНЬШИТЬ СРОКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ.

Одним из направлений совершенствования конструкций является применение композитных материалов — например, железобетон с немаллической стержневой арматурой, дисперсно-армированных бетонов с металлической и немаллической фиброй, фибробетон (ФБ), получаемых при применении аддитивных технологий (3D-печать, торкретирование и набрызг-бетонирование).

НА ДОРОГАХ, МОСТАХ — И НЕ ТОЛЬКО

Первое применение фибробетон в строительной практике связывают с именем русского инженера В. П. Некрасова, который еще в начале XX века для усиления бетона использовал отрезки стальной проволоки. Ис-

следования Некрасова впервые были опубликованы в журнале «Зодчий» (1908 год).

Одними из первых конструкций, армированных фиброй, изначально стальной, являлись дорожные покрытия различного назначения и полы промышленных цехов.

В настоящее время, благодаря своим свойствам, фибробетон используется в различных областях гражданского, промышленного и транспортного строительства, а также при сооружении объектов специального назначения.

Область применения ФБ распространяется на конструкции: полов и покрытий, в том числе бесшовных, устраиваемых на промышленных предприятиях, в цехах и т. д.; дорожных одежд и аэродромных покрытий; плит проезжей части мостов, монолитных и сборных



Рис. 1. Опыт укладки сталефибробетона на объекте ЗАО «Сибмост-45» севернее Иркутска на реке Лене в сентябре 2009 года (<http://www.wolwekplus.ru>)



Рис. 2. Элементы несъемной тонкостенной опалубки при строительстве эстакады на Западном скоростном диаметре в Санкт-Петербурге

плит сталежелезобетонных пролетных строений; парковочных площадок, паркингов, в том числе для стоянки тяжелой авиационной техники; фундаментных плит, ударопрочных свай; подпорных стен; водопропускных лотков; тонкостенных несъемных опалубок; резервуаров для жидкостей, в том числе нефтехранилищ, резервуаров для токсичных жидкостей и отходов; гидротехнических сооружений; тоннельных обделок, временных крепей тоннелей и горных выработок из набрызгбетона; монолитных и сборных обделок тоннелей; банковских хранилищ.

Фибробетоны представляют собой большую группу композитных материалов на основе бетона. В зависимости от типа фибры по материалу, форме, способу анкеровки, применяемому бетону-матрице, ФБ имеют различные физико-механические свойства, особенности работы, области рационального применения.

В отечественной мостостроительной практике накоплен определенный опыт использования сталефибробетон (СФБ). В большинстве случаев они применялись в мостовых сооружениях в качестве материалов дорожного полотна пролетных строений, гидроизоляционных слоев при устройстве новых пролетных строений и реконструкции старых (рис. 1). Кроме того, СФБ использовался в плитах сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов, плитах железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов с ездой на балласте и с безбалластным мостовым полотном, конструкции которых были на практике внедрены в Москве при реконструкции Угрешского автодорожного путепровода на пересечении Третьего транспортного кольца с Волгоградским проспектом, путепровода на пе-

ресечении ж/д путей линии Москва — Павелецкая с ул. Большая Тульская, и стали объектами стандартизации ГОСТ Р 52751, выпущенного в 2008 году.

Другое применение ФБ в мостостроении — несъемная тонкостенная опалубка. Например, она была устроена в Санкт-Петербурге при строительстве Южного участка Западного скоростного диаметра (рис. 2) для бетонирования плиты проезжей части сталежелезобетонного пролетного строения, которая состояла из отдельных П-образных стеклофибробетонных тонкостенных панелей длиной 2,78 м, укладываемых на главные и поперечные балки, и криволинейных панелей, оформляющих боковые части тротуарных консолей.

В Шанхае в 2005 году был сооружен участок железнодорожной трассы под подвижной состав на магнитной подушке. Главные несущие элементы комбинированной балки для объекта изготовили из самоуплотняющегося сталефибробетона (рис. 3). Необходимо отметить, что применение СФБ здесь было связано с его высокой стойкостью к циклическим нагрузкам.

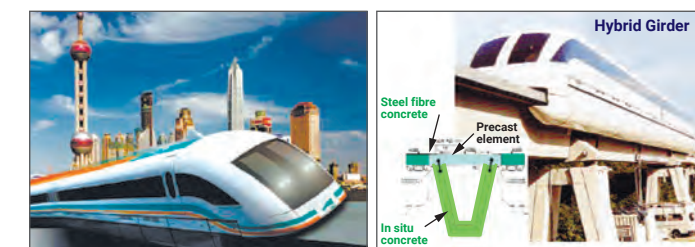


Рис. 3. Железнодорожная трасса на магнитной подушке в Шанхае

В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В области строительства фундаментов зданий и сооружений известен опыт применения фибробетонов для усиления конструкций свай. Например, еще в середине 1970-х гг. трестом «Леноргинжстрой» и ЛенЗНИИЭПом были разработаны ударопрочные железобетонные сваи со сталефибробетонным оголовком для свайного основания цеха обезвреживания осадка очистных сооружений на острове Белом (Ленинград).

В тоннелестроении стальную фибру начали использовать для армирования набрызгбетонных крепей и торкретирования также в 70-х гг. прошлого столетия.

В 80-х гг. область применения фибрового армирования расширилась до вторичных монолитных обделок – «рубашек». В дальнейшем, с развитием технологической и методологической базы ФБ-конструкций, появилась возможность использования стальной фибры в качестве арматуры для монолитных и сборных несущих обделок (первичных), как самостоятельных без стержневого армирования, так и в комбинации со стержневой арматурой. На данный момент зарубежный опыт применения СФБ для сборных тоннельных обделок составляет более 40 лет.

Первый тоннель с блоками, армированными стальной фиброй в комбинации со стержневой арматурой, был запроектирован и построен для линии метро Неаполя (Италия) в 1992 году. Для армирования блоков использовалась стальная проволоочная фибра с отгибами Dramix C50/50 бельгийской фирмы Bekaert в количестве 40 кг/м³. Обделка — с внутренним диаметром 5,8 м, толщиной 30 см, длина тоннеля — 2640 м.

Первые тоннельная обделка из блоков, армированных только стальной фиброй, была применена для багажно-транспортного тоннеля аэропорта Хитроу в Лондоне в 1995 году. Для армирования блоков использовалась стальная проволочная фибра с отгибами Dramix C60/80 в количестве 30 кг/м³. Обделка – внутренним диаметром 4,5 м, толщиной 15 см, длина тоннеля – 1500 м.

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ, БЛАГОДАРЯ СВОИМ СВОЙСТВАМ, ФИБРОБЕТОН ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ГРАЖДАНСКОГО, ПРОМЫШЛЕННОГО И ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА, А ТАКЖЕ ПРИ СООРУЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ, В СВЯЗИ СО СПЕЦИФИКОЙ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОБДЕЛОК, ПРИМЕНЕНИЕ ФБ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНО.

В настоящее время за рубежом насчитывается более 60 эксплуатируемых тоннелей различного назначения (коммунального и транспортного) диаметрами от 2,1 до 14,3 м с обделкой из ФБ.

Первый опыт применения СФБ-обделок в отечественной практике был применен в начале 1980-х гг., когда по предложению НИЦ «Тоннели и метрополитены» ЦНИИСа на Очаковском заводе Мосметростроя было изготовлено и испытано три опытных кольца сборной обделки перегонного тоннеля метрополитена внутренним диаметром 5,1 м, толщиной 20 см. Проведенные исследования показали позитивные результаты. Далее было изготовлено и установлено около 1000 замковых блоков в обделках перегонных тоннелей Московского метрополитена, которые эксплуатируются в настоящее время. В ходе исследований также устроили опытные участки сборных СФБ-обделок и отдельных элементов обделок, опытный участок обделки и проект постоянной обделки перегонного тоннеля метро между станциями «Парк Победы» и «Киевская».

Несмотря на очевидные преимущества материала и проведенные исследования в СССР и РФ, опыт сооружения тоннелей с использованием СФБ-блоков в отечественной практике относительно мал и ограничивается в основном их применением на опытных участках, в то время как за рубежом уже накоплен сравнительно большой опыт строительства ФБ-обделок. При этом за последние 25 лет можно отметить тенденцию роста интереса к ним и увеличению финансирования данного направления в европейских странах, США и т. д.

В зарубежной практике как наиболее показательные можно выделить реализованные проекты строительства железнодорожных тоннелей Великобритании – Франции (High Speed 1) и Линии 9 метрополитена в Барселоне.

В первом случае армирование обделки внешним диаметром 7,85 м выполнено стальной фиброй без стержневой арматуры. Железнодорожная линия Париж — Лондон с тоннелями общей протяженностью в двухпутном исчислении 42 км была открыта в ноябре 2007 года.

Благодаря использованию сталефибробетона значительно повысилось качество отделки, предэксплуатационные дефекты были сведены к минимуму. Применение СФБ на заводах железобетонных изделий (ЖБИ), оснащенных для изготовления блоков автоматизированными установками поточного (карусельного) типа, позволило добиться высокой производительности изготовления блоков — до 30 шт. (3 кольца) в час, что являлось одной из задач обеспечения ускоренных темпов проходки. Также одним из критериев выбора конструкционного материала являлся срок службы сооружения по техническому заданию — 120 лет.

В метрополитене Барселоны тоннели общей протяженностью около 40 км были выполнены с обделкой

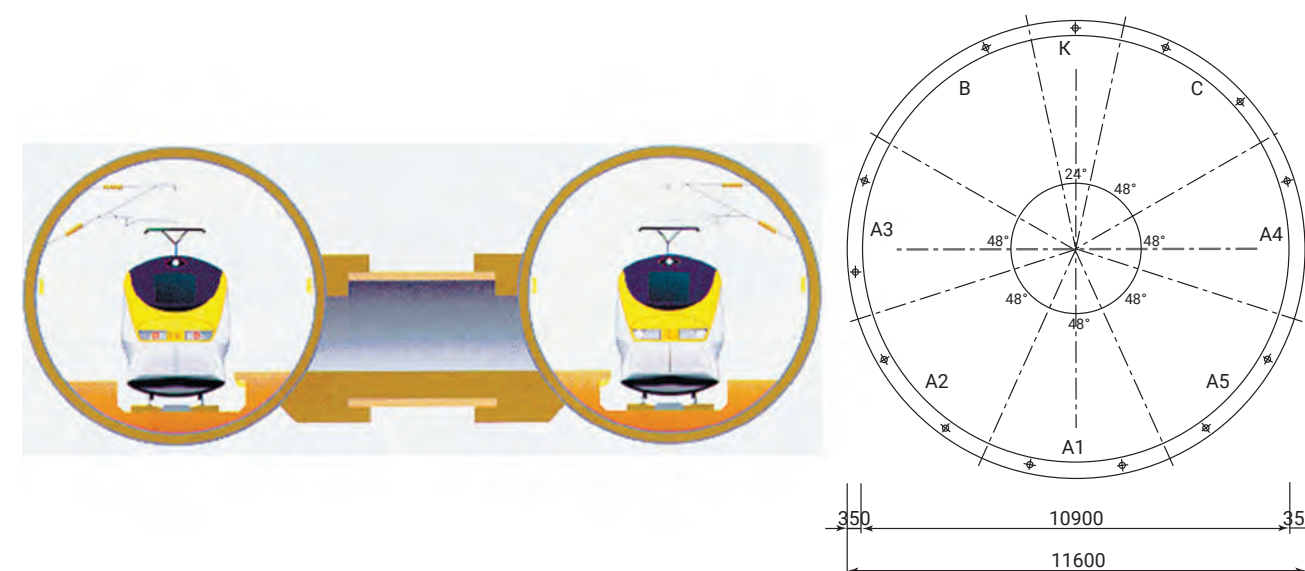


Рис. 4. Сечение двух однопутных тоннелей скоростной ж/д Лондон – Париж (а); сечение тоннеля метрополитена Линии 9 в Барселоне (б)

диаметром 11,6 м, предусматривающим организацию движения подвижного состава в два яруса. В первоначальном варианте обделку запроектировали со стержневой арматурой в количестве 97 кг/м³, но, после соответствующего обоснования, в окончательном варианте армирования была предложена комбина-

ция облегченных арматурных каркасов из стальных стержней в количестве 31 кг/м³ и стальной проволочной фибры в количестве 35 кг/м³. Применение СФБ значительно упростило армирование конструкции, что позволило сократить расходы на изготовление блоков на 10%.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В качестве выводов следует отметить:

■ в настоящее время в условиях Российской Федерации формально нет препятствий к проектированию и производству ФБ конструкций объектов транспортной инфраструктуры, однако нормативная база требует совершенствования в части методологии проектирования и в части требований к ФБ-конструкциям, что должно отражаться в отраслевых нормативных документах (СП 35, СП 120, СП 122 и др.);

■ производство качественной фибры налажено в РФ с возможностью обеспечения заводов-изготовителей конструкций ее достаточным количеством;

- внедрение фибробетонов в российских условиях сдерживается «страхом нового», малым опытом работы с ФБ, неотлаженной технологией производства ФБ-конструкций и контроля их качества;

- заводам ЖБК необходимо вложение собственных средств на дооснащение специализированным оборудованием для производства ФБ-конструкций — авто-

матическими дозаторами, интегрируемыми в технологический процесс;

- заводским и независимым лабораториям необходимо специальное испытательное оборудование для контроля качества конструкций;

■ при использовании фибробетонных конструкций ожидаемый эффект, в основном, связан с сокращением трудозатрат на изготовление арматурных изделий;

■ в тоннелестроении, в связи со спецификой напряженного состояния конструкций тоннельных обделок (преобладание сжимающих напряжений от действия эксплуатационных нагрузок), применение фибробетона наиболее эффективно.

Экономический эффект выражается в снижении стоимости на 5-20% для сборных ФБ-обделок щитового способа; 10-30% — для монолитных ФБ-обделок горного способа, а также фибронабрызгбетонных крепей и первичных обделок. Помимо снижения себестоимости, производство ФБ-конструкций энергоэффективно, менее трудозатратно и позволяет ускорить процесс производства и строительства объектов.■

ПРОХОДКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПОД ДЕЙСТВУЮЩИМИ ПУТЯМИ СООБЩЕНИЯ

Н. А. СУЛА,

ст. преподаватель кафедры «Мосты, тоннели и строительные конструкции» МАДИ

СТРОИТЕЛЬСТВО НОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДВИЖЕНИЯ В СЛОЖИВШЕЙСЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ СОПРЯЖЕНО С РЯДОМ ТРУДНОСТЕЙ. НАПРИМЕР, ПЕРЕСЕЧЕНИЕ СТРОЯЩЕЙСЯ ДОРОГИ С ДЕЙСТВУЮЩИМИ ПУТЯМИ СООБЩЕНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ СЛОЖНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАДАЧЕЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ИЛИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗАЧАСТУЮ ЯВЛЯЕТСЯ УСЛОВИЕМ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫМ ЗАКАЗЧИКОМ.

Пересечение действующих путей сообщения в разных уровнях возможно реализовать в путепроводном или тоннельном варианте. Путепроводный вариант, как правило, отличается более высокими темпами строительства и меньшей стоимостью строительно-монтажных работ. Эффективность данного варианта повышается в случае заложения существующих путей сообщения в выемке (рис. 1, а). Однако, при наличии даже небольшой насыпи, размещение путепровода может оказаться нецелесообразным вследствие необходимости строительства протяженных подходов к путепроводу.

В городских условиях зачастую трудно найти свободное место для создания подходов большой протяженности. Кроме того, высокие мостовые конструкции могут не вписываться в сложившийся архитектурный облик района. Они к тому же являются источниками повышенного шума и не защищены от атмосферных осадков.

Тоннельный вариант наиболее целесообразен в случае наличия высоких насыпей, особенно если удастся расположить тоннель на односкатном продольном уклоне без формирования пониженной точки, требующей строительства водоотливной установки (рис. 1, б). Тоннель характеризуется скрытностью конструкций и отсутствием влияния на окружающую среду, что особенно важно при строительстве объекта в городской черте.

Решение о выборе того или иного варианта пересечения с действующими путями сообщения должно приниматься на основе технико-экономического сравнения с учетом архитектурных, конструктивных, технологических, эксплуатационных, экологических и экономических требований, предъявляемых к транспортному сооружению.

При реализации тоннельного пересечения возможно применение нескольких способов строительства, обеспечивающих непрерывность существующего движения: продавливание крупногабаритных секций или проходка с применением опережающей контурной и забойной крепи. Возможный щитовой способ не рассматривается из-за экономической нецелесообразности при длине тоннеля менее 1–1,5 км.

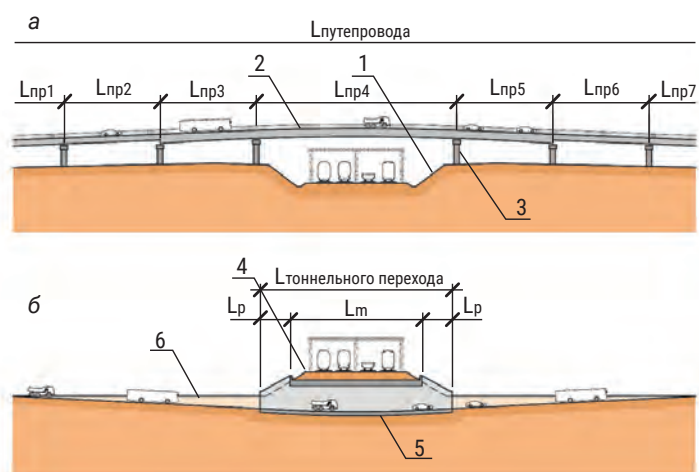


Рис. 1. Путепроводный (а) и тоннельный (б) варианты пересечения действующих путей сообщения: 1 — выемка; 2 — пролетное строение путепровода; 3 — опора путепровода; 4 — насыпь; 5 — конструкция тоннеля; 6 — выемка на подъезде к тоннелю; $L_{пр1}$ –7 — длины пролетов путепровода; L_t — длина тоннеля; L_p — длина ramпы

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДАВЛИВАНИЯ КРУПНЫХ ТОННЕЛЬНЫХ СЕКЦИЙ

В практике строительства автотранспортных тоннелей под насыпями действующих железных и автомобильных дорог используют технологию продавливания крупных тоннельных секций длиной до 15–20 м и более и массой свыше 800–1000 т. Крупногабаритные секции можно продавливать с одной или с обеих сторон насыпи навстречу друг другу (рис. 2).

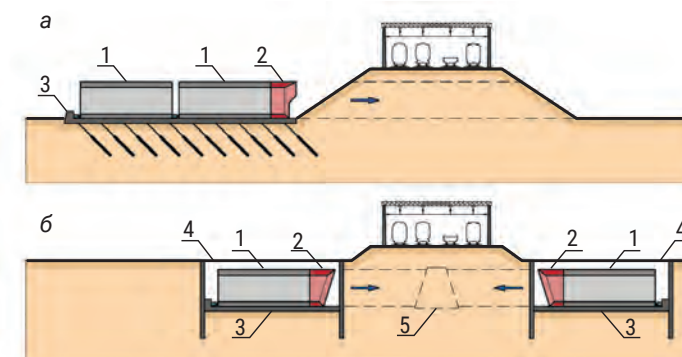


Рис. 2. Схемы продавливания крупногабаритных тоннельных секций с одной (а) и двух (б) сторон: 1 — крупногабаритная тоннельная секция; 2 — ножевая секция; 3 — монтажный стапель; 4 — монтажный котлован; 5 — участок омоноличивания

Наиболее целесообразно крупногабаритные секции продавливать в существующие откосы насыпи для того, чтобы избежать технологических трудностей ввода ножевой части в грунтовой массив. Начало проходки из стартового котлована с вертикальными ограждающими стенами сопряжено со сложностями первичного ввода ножевой секции в грунтовой массив из-за необходимости обеспечения устойчивости лба забоя, имеющего большую высоту, и предотвращения осадок поверхности земли. Для этого прибегают к дополнительным предварительным работам по закреплению начального участка разрабатываемого грунтового массива. Наличие откоса позволяет с легкостью внедрить ножевую секцию в породу и продолжить проходку в соответствии с проектными решениями.

Крупногабаритные секции возводят непосредственно на строительной площадке перед началом проходки. Их выполняют из монолитного железобетона. Проектная прочность бетона тоннельной конструкции на момент начала проходки должна составлять

90–100%. Так как любой длительный технологический перерыв при продавливании не допустим, к началу проходки должны быть изготовлены все продавливаемые секции. В случае отсутствия возможности расположения секций друг за другом, их изготавливают рядом с дальнейшим поперечным смещением с помощью домкратных установок по накаточным путям и установкой в створе продавливания.

Важнейшим элементом подготовки к продавливанию крупногабаритных тоннельных секций является сооружение монтажного стапеля, представляющего собой монолитную железобетонную плиту с накаточными и направляющими устройствами. В случае наличия стартового котлована с вертикальными ограждающими стенами плиту стапеля выполняют в пределах всего котлована расчетной толщины. Упорами для такой плиты служат его стены (рис. 3, а). В случае осуществления продавливания с поверхности земли или из мелкозаглубленных котлованов с естественными откосами плиту стапеля необходимо дополнительно анкеровать в грунте для обеспечения ее устойчивости сдвигу от усилий работы домкратной станции. В зависимости от усилий домкратной станции и свойств грунтового основания плита стапеля может быть выполнена в виде ребристой, анкерной или свайной конструкции (рис. 3, б–г). Ребристая конструкция позволяет увеличить несущую способность грунтового основания на сдвиг. Свайную конструкцию выполняют из буровых свай, работающих на срез, анкерную — из грунтовых инъекционных анкеров, работающих на растяжение.

В составе плиты стапеля изготавливают упорную конструкцию для размещения домкратной станции.

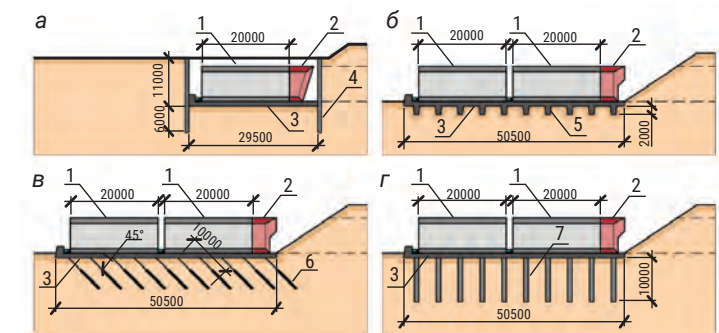


Рис. 3. Виды конструкций (а–г) монтажного стапеля: 1 — крупногабаритная тоннельная секция; 2 — ножевая секция; 3 — плита стапеля; 4 — ограждающая конструкция котлована; 5 — ребро; 6 — грунтовый анкер; 7 — буронабивная свая

Гидравлические домкраты при продавливании крупногабаритных конструкций устанавливают только в уровне лотковой плиты, которую выполняют с увеличенной толщиной. Могут применяться силовые гидравлические домкраты, развивающие усилия в диапазоне 2–5 тыс. кН. Общее расчетное усилие продавливания может достигать 80–100 тыс. кН. Для снижения усилий, как правило, наряду с основной домкратной станцией применяют промежуточные домкратные установки, размещаемые между крупногабаритными секциями. Секции тоннельной обделки проектируют с учетом усилия продавливания, прикладываемого в зоне лотковой плиты, и его пространственного перераспределения между домкратной станцией и ножевой секцией.

Бесспорными преимуществами технологии продавливания тоннельных секций являются высокие темпы проходки (до 30-50 м/мес.), использование продавливаемых секций в качестве временной крепи при выполнении строительных работ, возможность продавливания протяженных тоннельных участков при условии применения промежуточных домкратных станций.

Однако такая технология имеет и ряд существенных недостатков, которые необходимо учитывать при оценке эффективности данного способа строительства. Так, продавливание тоннеля осуществляют с открытым забоем, что исключает применение технологии в обводненных грунтах. Перед началом работ по продавливанию необходимо изготовить индивидуальную металлическую ножевую секцию, имеющую высокую металлоемкость и массу до 200–300 т. Технология требует отвода большой территории для формирования монтажного стапеля. Для обеспечения большей безопасности проведения строительных работ необходимо создание дополнительного защитного экрана из труб над участком продавливания, а также специальных направляющих элементов.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОД ЗАЩИТОЙ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ

В настоящее время в практике отечественного и зарубежного тоннелестроения значительное распространение получила технология строительства под защитой экранов из труб. Она применяется в случае мелкого заложения тоннеля при преодолении высотных и контурных преград, а также действующих автомобильных и железных дорог без вскрытия поверхности земли.

Использование защитных экранов из труб позволяет повысить устойчивость окружающего выработку грунтового массива, исключить вывалы и обрушения поро-

ды, вести проходку на полный профиль или уступами с применением высокопроизводительного тоннелепроходческого оборудования, выполнять работы под действующими транспортными путями и фундаментами зданий с минимально допустимыми осадками и др.

Под защитой экранов из труб возможно строить участки тоннелей практически любых форм и размеров поперечного сечения. Трубы защитного экрана размещают по контуру будущего объекта. В случае грунтов естественной влажности экран из труб под лотковой плитой выполняют разряженным, при наличии высокого уровня грунтовых вод — формируют в виде сплошной конструкции (рис. 4).

В настоящее время для создания защитных экранов используют стальные трубы диаметром от 530 до 1220 мм, заполненные бетоном. При необходимости перед бетонированием внутреннее пространство труб заполняют каркасами из стержневой арматуры. Как правило, трубы между собой объединяют специальными замковыми устройствами, выполняющими функцию направляющих элементов при их продавливании, а также защиты от местных вывалов грунта через зазоры между трубами (рис. 5). Замковые устройства могут быть как внешние, так и внутренние. Внешние устраивают за счет приварки уголков, швеллеров или труб малого диаметра к боковой поверхности труб экрана. Внутренние замки формируют за счет продольного разреза стенки трубы экрана (с обязательным дополнительным усилением продольного разреза). Замковые устройства повышают точность и упрощают контроль задавливания труб. Кроме того, в ряде случаев отпадает необходимость заполнения зазоров между трубами цементным раствором.

Установку защитного экрана в проектное положение производят за счет горизонтального бурения скважин с одновременным продавливанием в них труб с помощью буровнекового оборудования. Трубы продавливают от-

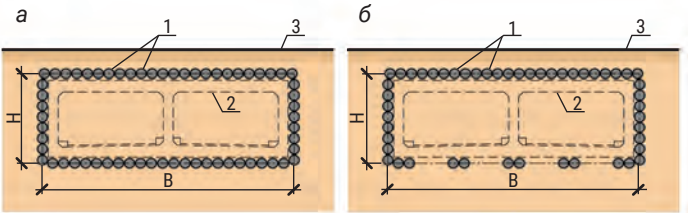


Рис. 4. Схемы устройства защитного экрана из труб: а — замкнутый экран; б — незамкнутый снизу экран; 1 — трубы защитного экрана; 2 — контур тоннельной обделки; 3 — поверхность земли; В — ширина защитного экрана; Н — высота защитного экрана

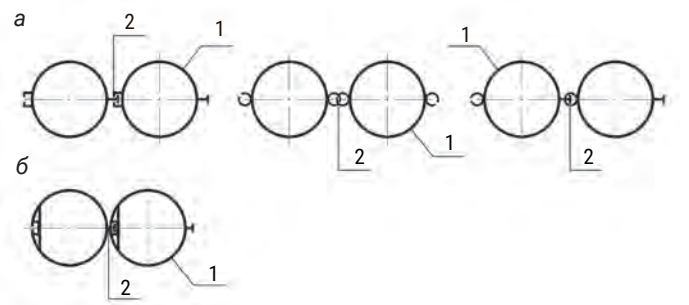


Рис. 5. Виды замковых устройств: а — внешние замковые устройства; б — внутренние замковые устройства; 1 — труба защитного экрана; 2 — замковое устройство

дельными секциями длиной 3–6 м, соединяя их между собой на сварке.

Другой успешно зарекомендовавший себя способ установки труб защитного экрана основан на применении технологии микротоннелирования, используемой для бестраншейной прокладки трубопроводов закрытым способом. Щитовой комплекс, состоящий из микрошита диаметром 0,4–1,2 м, системы удаления грунта, трубопроводов, домкратной станции и системы управления, обеспечивает разработку горизонтальных

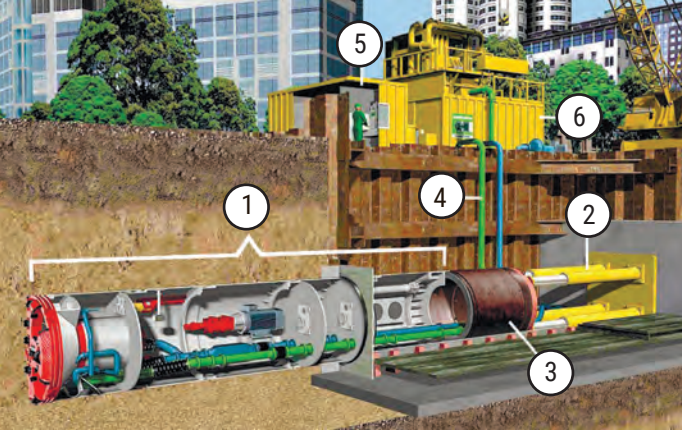


Рис. 6. Оборудование микроситового комплекса для прокладки труб: 1 — микрошит; 2 — главная домкратная станция; 3 — секция продавливаемой трубы; 4 — трубопроводы подачи бентонита и отвода пульпы; 5 — блок управления и контроля; 6 — блок выдачи породы, очистки и регенерации бентонита

или слабонаклонных скважин (рис. 6). Удаление породы, как правило, происходит за счет разрушения и перемешивания ее с бентонитовым раствором, используемым при проходке. Продавливание микрошита с трубой

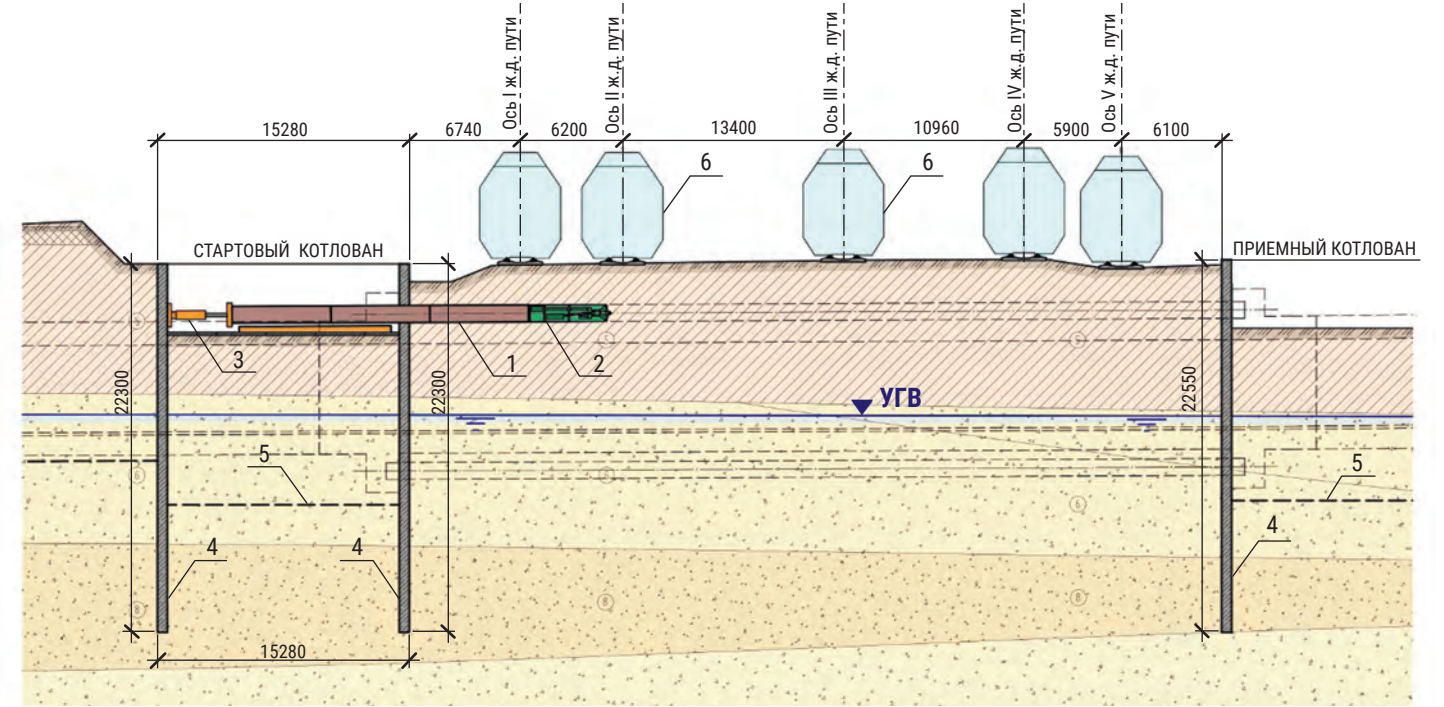


Рис. 7. Устройство защитного экрана из труб с помощью технологии микротоннелирования: 1 — составная труба защитного экрана; 2 — микрошит; 3 — домкратная станция; 4 — ограждающая конструкция котлована; 5 — проектное дно котлована; 6 — железнодорожный габарит приближения строений и оборудования

защитного экрана производят домкратной станцией, расположенной в стартовом котловане (рис. 7). Для извлечения щита из скважины, после установки трубы в проектное положение, необходим приемный котлован, в который выходит микрощит после завершения проходки. Микротоннелирование является безосадочной технологией при условии строго соблюдения всех необходимых регламентных технологических операций и позволяет продавливать трубы защитного экрана на длину 60–80 м и более в широком диапазоне грунтовых условий, включая грунты, содержащие дресву, камни и валуны.

После устройства защитного экрана приступают к разработке грунта подэкранного пространства. В зависимости от инженерно-геологических и гидрологических условий, глубины заложения и длины экрана возможны несколько принципиальных схем проходки. Классическая схема в благоприятных грунтовых условиях подразумевает разработку сплошным забоем с установкой временных стальных рам крепления по мере выемки грунта (рис. 8.1, а). Установка рам с расчетным шагом позволяет создать надежную жесткую пространственную систему крепления труб защитного экрана. Однако данные работы характеризуются высокой металлоемкостью и трудоемкостью при монтаже и последующем демонтаже крепи.

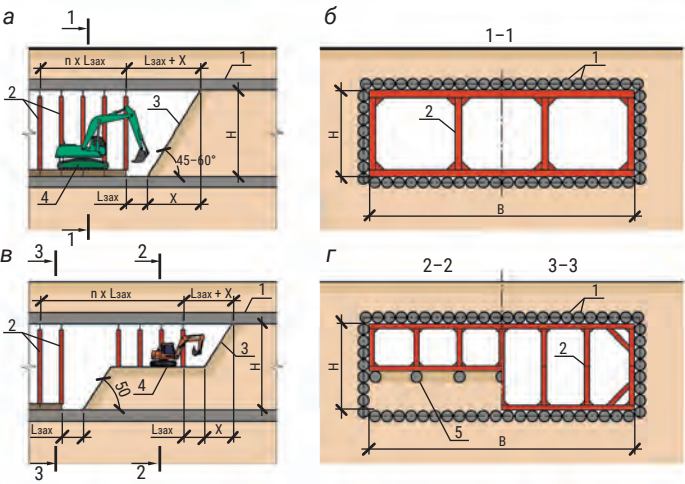


Рис. 8.1. Схемы разработки грунта под защитой экрана из труб:
а — на полный профиль; б — ступенчатым забоем;
1 — защитный экран из труб; 2 — рамы крепления;
3 — лоб забоя; 4 — экскаватор; 5 — опорные трубы;
 $L_{зак}$ — длина заходки; Н — высота выработки; В — ширина выработки; Х — длина зоны обрушения;
п — количество заходов

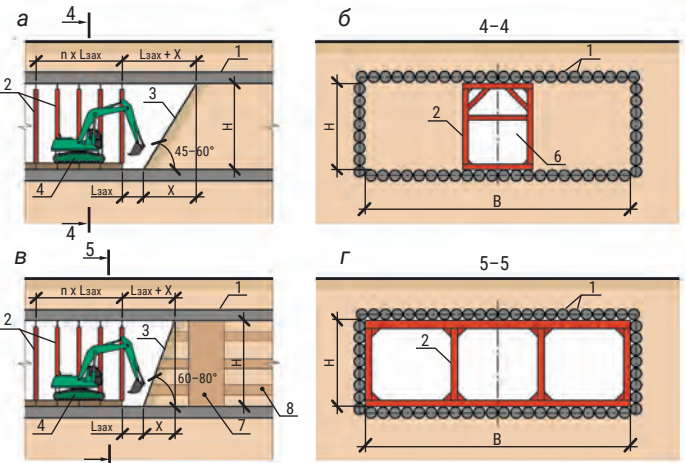


Рис. 8.2. Схемы разработки грунта под защитой экрана из труб:
в — с опережающей штольной; г — с отсечными грунтоцементными массивами; 1 — защитный экран из труб; 2 — рамы крепления; 3 — лоб забоя; 4 — экскаватор; 6 — опережающая штольная; 7 — отсечной грунтоцементный массив; 8 — горизонтальные грунтоцементные сваи; $L_{зак}$ — длина заходки; Н — высота выработки; В — ширина выработки;
Х — длина зоны обрушения;
п — количество заходов

В грунтах с низкими прочностными характеристиками, не способными обеспечивать устойчивость лба забоя, возможно применение ступенчатого способа (рис. 8.1, б). Сначала ведут проходку верхней части выработки, затем, с отставанием в 5–15 м, — нижней. Уменьшение высоты забоя вдвое за счет формирования ступени позволяет повысить его устойчивость и обезопасить строительство. Однако требуется устройство опорного элемента для верхних рам крепления в виде дополнительной трубы экрана, а также выполнение работ по их последующему переопиранию на нижние рамы крепления.

В некоторых случаях прибегают к проходке пилотной центральной штольной на всю длину защитного экрана. Опережающая штольная позволяет создавать жесткое центральное ядро, закрепленное облегченными рамами (рис. 8.2, в). В дальнейшем из пройденной штольной выполняют поперечные врезы в породу с установкой в них промежуточных рам крепления или бетонируют участки тоннельной конструкции. Таким образом обеспечивают дополнительное подкрепление труб защитного экрана до начала момента

основной проходки. Данная технология осложнена устройством поперечных врезов и характеризуется более продолжительными сроками строительства.

Создание дополнительных отсечных массивов закрепленного грунта под защитным экраном способствует повышению устойчивости породы и снижению деформативности самого экрана. Подобные массивы возможно формировать с помощью применения технологии струйной цементации из горизонтальных или вертикальных грунтоцементных свай заранее, до начала проходки. В случае применения грунтоцементных отсечных массивов имеется возможность оптимизации в сторону уменьшения количества рам крепления (рис. 8.2, г).

ЗАБОЙНАЯ ГРУНТОЦЕМЕНТНАЯ КРЕПЬ

Наряду с контурной опережающей крепью из стальных труб в последнее время большое распространение получает и забойная грунтоцементная крепь. Зачастую при проходке тоннелей требуется обеспечивать устойчивость положения лба забоя или выполнять стабилизацию и закрепление грунта выработки. При этом, для повышения прочностных свойств грунтов, прибегают к созданию отдельных горизонтальных грунтоцементных свай, равномерно распределенных в объеме выработки, а в случае слабых водонасыщенных грунтов — сплошного грунтоцементного массива из взаимопересекающихся грунтоцементных свай (рис. 9). Дальнейшую проходку тоннельной выработки с подобным забойным креплением осуществляют, как правило, тоннелепроходческой машиной избирательного действия с фрезерным рабочим органом.

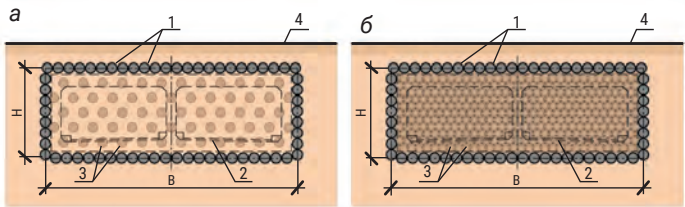


Рис. 9. Схемы забойной грунтоцементной крепи:
а — разреженное закрепление; б — сплошное закрепление;
1 — трубы защитного экрана; 2 — контур тоннельной обделки; 3 — грунтоцементные сваи;
4 — поверхность земли

Бетонирование тоннельной обделки выполняют, как правило, участками, равными длине расчетных заходов. Возведение обделки осуществляют либо после полного завершения проходки, либо совмещают с ней. Наиболее сложной технологической операцией является бетонирование плиты перекрытия. Для достижения необходимого качества работ применяют самоуплотняющиеся бетоны и насосное оборудование, позволяющее подавать бетонную смесь под давлением в зону бетонирования.

ОТ СРАВНЕНИЯ — К ДОСТИЖЕНИЯМ

Как уже было сказано, каждая из рассматриваемых технологий имеет ряд определенных технических достоинств и недостатков. Экономическое сравнение данных способов, реализуемых в одинаковых условиях, показывает, что строительство тоннелей с помощью продавливания крупногабаритных секций обходится дороже на 15–20%, в отличие от проходки под защитными экранами из труб. Однако, обладая к моменту начала строительства домкратным оборудованием и ножевой секцией многократного использования, возможно зна-

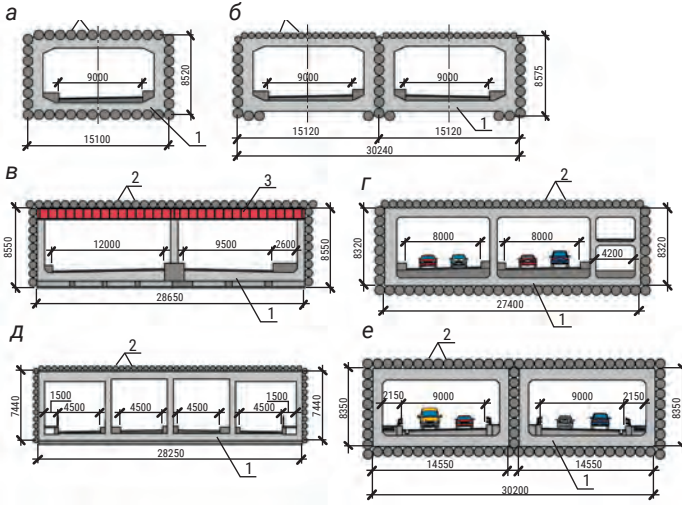


Рис. 10. Конструкции тоннелей, построенных под защитой экранов из труб:
а, б — тоннели в Перми под Транссибирской железной дорогой; в — тоннель на Волоколамском шоссе в Москве; г — тоннель в створе Токсовской улицы в Санкт-Петербурге; д — тоннель под Новосибирском; е — тоннель под Воронежем;
1 — конструкция тоннельной обделки; 2 — трубы защитного экрана; 3 — стальная балка перекрытия

чительно снизить стоимость строительно-монтажных работ.

В нашей стране накоплен значительный опыт строительства тоннелей с помощью продавливания крупногабаритных тоннельных секций, а также под защитой экранов из труб. В Москве построены два тоннеля под действующими железнодорожными путями с применением технологии продавливания: один на Нахимовском проспекте под путями Павелецкого направления, другой на Варшавском шоссе под путями Курского направления железной дороги. Причем строительство тоннеля на Варшавском шоссе является самым масштабным отечественным опытом, где было продавлено в общей сложности 6 тоннельных секций длиной по 30 м.

Литература

1. Маковский, Л. В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей: учебник / Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула. — М.: КНО-РУС, 2022. — 534 с.

2. Маковский, Л. В. Строительство автодорожных и городских тоннелей: учебник / Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула. — М.: КНО-РУС, 2024. — 416 с.

3. Сула, Н. А. Строительство автотранспортных тоннелей под железнодорожными путями в России // Мир дорог. — №90, 2016. — С. 24-32.

Применение защитных экранов из труб получило у нас большое распространение. За последние 20 лет построено не менее 12 автотранспортных тоннелей под действующими железнодорожными путями. Среди них несколько объектов в Перми и Москве, в Санкт-Петербурге, под Новосибирском и Воронежем (рис. 10), а также в других городах России.

Заслуживают отдельного рассмотрения недавно построенные в Москве два тоннеля под действующими путями сообщения по трассе Московского скоростного диаметра (МСД), где были применены различные схемы проходки под защитными экранами из труб. Обзор опыта этого строительства будет рассмотрен в последующих номерах журнала.■



XI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ:
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА,
ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ»**

29—30 / 2024 **МАЯ**

Организатор конференции



МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Официальная поддержка



НИИ строительства

Генеральный спонсор



Спонсоры конференции



Генеральные информационные партнеры



МОСКВА
МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»
ОТЕЛЬ «АКВАРИУМ»

www.fc-union.com, info@fc-union.com, +7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810



МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ЩИТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ
ДЛЯ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЕЙ НЕКРУГОВОЙ ФОРМЫ

Л. В. МАКОВСКИЙ, к. т. н., профессор;
В. В. КРАВЧЕНКО, к. т. н., доцент
(МАДИ, кафедра «Мосты, тоннели и строительные конструкции»)

В СТАТЬЕ ПРИВЕДЕНЫ СВЕДЕНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ЩИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ В НАШЕЙ СТРАНЕ И ЗА РУБЕЖОМ. ОТМЕЧАЕТСЯ, ЧТО ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЧЕТЫРЕХ— И ШЕСТИПОЛОСНЫХ АВТОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ КРУГОВАЯ ФОРМА ОБДЕЛКИ И ЩИТА НЕ ЯВЛЯЕТСЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ИЗ-ЗА ИЗБЫТОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА В ТОННЕЛЕ. ЭТО СВЯЗАНО С НЕОБХОДИМОСТЬЮ РАЗРАБОТКИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ГРУНТА И ПРИВОДИТ К СНИЖЕНИЮ СКОРОСТЕЙ ПРОХОДКИ. УКАЗАНО НА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ЩИТОВ С ДВУМЯ И ТРЕМЯ ДИСКОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ, ЧТО ПОЗВОЛЯЕТ СТРОИТЬ ТОННЕЛИ БИНОКУЛЯРНОГО И ТРЕХСВОДЧАТОГО ОЧЕРТАНИЯ. ОСНОВНОЕ ВНИМАНИЕ УДЕЛЕНО РАЗРАБОТАННЫМ В МОСКОВСКОМ ГОРНОМ ИНСТИТУТЕ ПРОЕКТНЫМ ПРЕДЛОЖЕНИЯМ ПО СОЗДАНИЮ ТПМК «МУСКАТ».

При строительстве тоннелей в некрепких скальных, мягких и слабоустойчивых грунтах применяют различные виды механизированных щитов кругового очертания диаметром от 5,5 до 15 м и более.

Находят широкое применение механизированные щиты германских фирм «Херренкнехт» и «Вирт», канадской — «Ловат», американской — «Роббинс», японских — «Хитачи», «Мицубиси» и др. [1].

В нашей стране механизированные щиты были созданы в 60-е годы прошлого века и успешно применялись на строительстве перегонных тоннелей Московского, Ленинградского, Киевского и Тбилисского метрополитенов, а также в ряде зарубежных стран [2, 3].

Круговая форма щитов является рациональной с точки зрения восприятия всестороннего давления грунта и воды, однако при больших диаметрах образуется значительное избыточное пространство в тоннеле за пределами габарита приближения строений и оборудования, что требует разработки излишних объемов грунта, замедляет скорости проходки и удорожает стоимость строительства.

В связи с этим в практике тоннелестроения намечалась тенденция применения механизированных щитов с двумя и тремя рабочими органами роторного действия



Рис. 1. Общий вид двухдискового МЩ вертикальной ориентации

в виде сплошной или многолучевой планшайбы, оснащенной системой породоразрушающих инструментов, что позволяет создавать тоннельные выработки овоидального очертания [3].

В двухдисковых щитах рабочие органы могут располагаться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях для проходки двухъярусных тоннелей (рис. 1). Это дает возможность организовать встречное движение поездов или автомобилей при максимальном использовании площади выработки, что способствует существенному повышению скорости проходки и снижению стоимости строительства. Трехдисковые щиты предназначены, главным образом, для проходки тоннелей трехсводчатых станций метрополитена.

В настоящее время фирмой «Херренкнехт» созданы механизированные проходческие комплексы «МНВОХ» для сооружения пешеходных тоннелей мелкого заложения прямоугольной формы с закруглениями в местах сопряжения стен с перекрытием и лотком [4].

В современной России представляет интерес разработанный в Московском горном институте проект ТПМК «Мускат».

В состав комплекса входит механизированный щит с призабойной пригрузочной камерой, заполняемой глинистым раствором или пеногрунтом (рис. 2) [5]. Рабочий

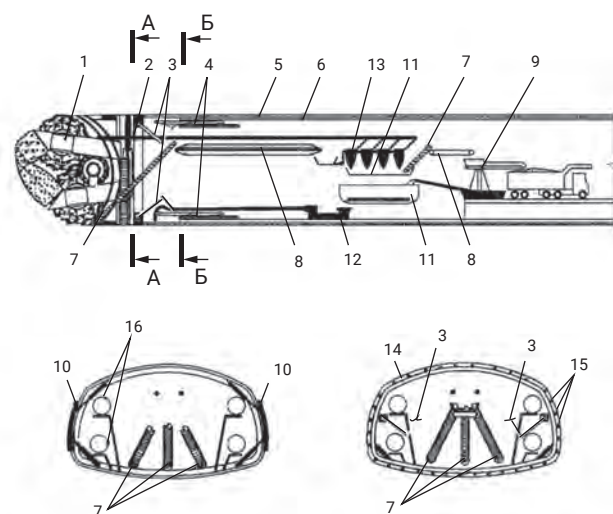


Рис. 2. Продольное сечение (а) и поперечные сечения (б-в) тоннелепроходческого механизированного комплекса «Мускат»:

1 и 2 — головная и распорная секции соответственно; 3 — манипуляторы для монтажа сборной опалубки; 4 — рольштанги для подачи блоков обделки; 5 и 6 — первый и второй слой обделки соответственно; 7, 8 и 9 — шнековый, ленточный и поворотный перегружатели соответственно; 10 — греперы; 11 — емкости для инертных связующих; 12 — бетононасосы; 13 — гидrocиклоны; 14 — прессовал; 14 — щитовые домкраты распорной секции; 16 — проходы в рабочий орган

орган щита состоит из планшайбы, двух вертикальных и двух горизонтальных криволинейных элементов, оснащенных съемными породоразрушающими элементами: шарошками, резцами и скребками. Шарошки разрабатывают крепкие скальные породы, резцы — породы средней крепости, а скребки — слабоустойчивые и неустойчивые грунты. Рабочий орган щита может перемещаться вместе с корпусом за счет отталкивания от блоков собранной обделки щитовыми домкратами, а при шарнирном корпусе — от опорного кольца, обжимаемого в породе специальными распорками — гренерами (рис. 3). В этом случае осуществляется непрерывная разработка грунта без остановки щита для монтажа обделки, что дает возможность преодолевать криволинейные участки трассы радиусом менее 100 м и увеличить скорости проходки на 20-30%.

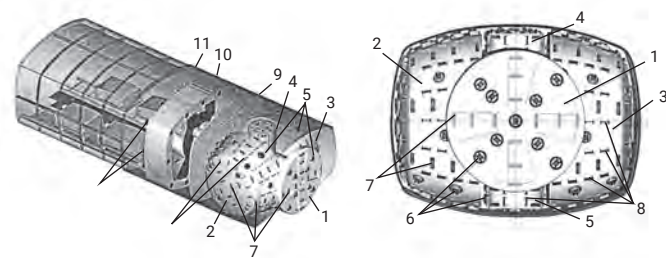


Рис. 3. Общий вид ТПМК «Мускат» (а) и вид исполнительного органа со стороны забоя (б):

1 — планшайба; 2 и 3 — два боковых рабочих органа, каждый из которых выполнен в виде тела вращения относительно горизонтальной главной центральной оси сечения тоннеля; 4 и 5 — два вертикальных рабочих органа барабанного типа, торцевые поверхности которых соответствуют своду и обратному своду тоннеля, 6 — шарошки, 7 — резцы; 8 — скребки; 9 — герметическая диафрагма пригрузочной камеры забоя; 10 — направляющая для отталкивания щитовых домкратов (12) от обделки тоннеля (11)

При проходке тоннелей механизированным комплексом «Мускат» можно применять обделку из сборного или монолитного железобетона, а также из монолитно-пресованного бетона. В настоящее время рассматривается возможность и целесообразность использования данного ТПМК для строительства подводного автомобильного тоннеля под р. Енисей в г. Красноярске [6, 7].

Сейчас в городе для связи районов, разделенных рекой, функционируют три мостовых перехода, однако они не справляются с непрерывно возрастающими транспортными потоками.

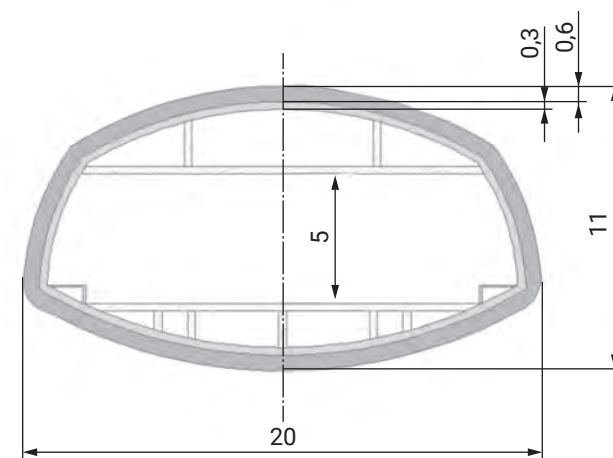


Рис. 4. Наиболее рациональная форма поперечного сечения тоннеля (размеры в метрах)

Строительство четвертого моста вызовет серьезные нарушения инфраструктуры в плотнозастроенных прилегающих районах города. В связи с этим предлагается соорудить шестиполосный автомобильный тоннель длиной около 2,5 км, который не потребует сноса существующей застройки.

Проходку тоннеля глубокого заложения предстоит вести в сложных инженерно-геологических и гидрологических условиях, характеризующихся наличием скальных трещиноватых, а также обводненных просадочных грунтов под большим гидростатическим давлением.

При этом наиболее рациональной формой тоннеля следует считать овальную шириной 20 м, высотой 11 м и площадью поперечного сечения 220 м² (рис. 4).

Литература

1. Современные щитовые машины с активным пригрузом забоя для проходки тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях / А. Г. Валиев, С. Н. Власов, В. П. Самойлов. — М.: ТА Инжиниринг, 2003. — 70 с.
2. Руководство по проектированию и строительству тоннелей щитовым методом / Под ред. В. Е. Меркина, В. П. Самойлова. — М.: ТА Инжиниринг, 2009. — 448 с.
3. Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. Строительство городских тоннелей в сложных условиях. — М.: КНОРУС, 2019. — 276 с.
4. Маковский Л. В. Эффективные технологии строительства пешеходных тоннелей / Маковский Л. В., Кравченко В. В. // Наука и техника в дорожной отрасли, № 4. — М., 2023. — С. 4-7.
5. В. А. Субботин. Технология сооружения магистрального четырехполосного автомобильного тоннеля овальной формы поперечного сечения модульным универсальным щитовым комплексом «Мускат» / В. А. Субботин, О. В. Телегина // Горное оборудование и электромеханика. 2010., № 7. — С. 2-4.
6. Г. С. Ябуров, Г. С. Курчин, Д. А. Урбаев. Развитие строительства автомобильных тоннелей овальной формы модульным универсальным щитовым агрегатом «Мускат» и рациональное использование выемочного пространства при проходке. // Сибирский федеральный университет. УДК 624.19.
7. Интернет-ресурсы:
URL: Режим доступа <https://poznayka.org/s14521t2.html>, свободный. — (Дата обращения 05.02.2024);
URL: Режим доступа <https://undergroundexpert.info/issledovaniya-itehnologii/tehnologii/metro-glubokogo-zalozhenija/>, свободный. — (Дата обращения 05.02.2024);
URL: Режим доступа <https://www.georesources.net/cms.php/en/archive/2192/herrenknechtmh-box-machine-an-efficient-tunnelling-concept-for-crossing-beneath-traffic-arteries>, свободный. — (Дата обращения 05.02.2024).

ТПМК «МУСКАТ» С РАБОЧИМ ОРГАНОМ, СОСТОЯЩИМ ИЗ ЦЕНТРАЛЬНОГО РЕЖУЩЕГО ДИСКА И ЧЕТЫРЕХ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ФРЕЗ, ПОЗВОЛИТ РАЗРАБАТЫВАТЬ ВЫРАБОТКИ ОВАЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ. ТАКОЙ КОМПЛЕКС НАМЕЧЕНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДВОДНОГО АВТОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ ДЛИНОЙ $\approx 2,5$ КМ ПОД Р. ЕНИСЕЙ В Г. КРАСНОЯРСКЕ. В СЛУЧАЕ УСПЕШНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РАССМАТРИВАЕМОГО ПРОЕКТА «МУСКАТ» БУДЕТ ПРИМЕНЯТЬСЯ В ПРАКТИКЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ.

Именно для проходки тоннеля предусмотрено создание ТПМК «Мускат», который позволит вести работы быстрыми темпами с минимальными нарушениями окружающей среды.

С вводом тоннеля в эксплуатацию удастся в значительной мере решить транспортную проблему в прилегающем районе Красноярска, а также минимизировать загрязнения воздуха и воды, снизить уровень шума и вибрации. Опыт строительства подводного перехода под Енисеем с применением механизированного щитового комплекса «Мускат» может быть распространен на другие аналогичные объекты в нашей стране [7].

Для реализации рассмотренных выше инженерных решений, однако, предстоит выполнить еще большой объем комплексных изыскательских и проектных работ с привлечением современных компьютерных технологий. ■