

РАЗМЫВ, ГОД 1974 – ГОД 2023

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

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

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

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

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

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

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

Тоннели на участке Размыв сооружали с помощью эректоров, грунт разрабатывали

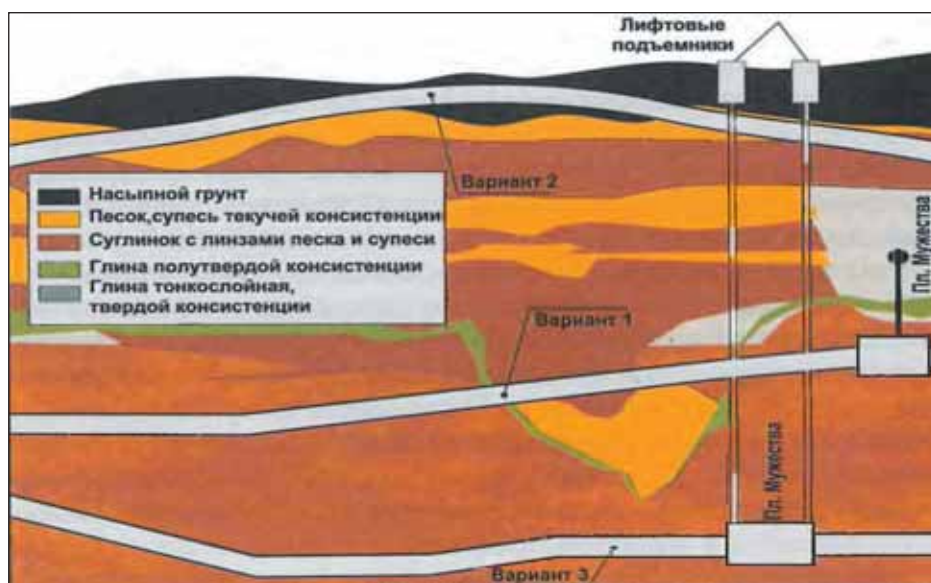
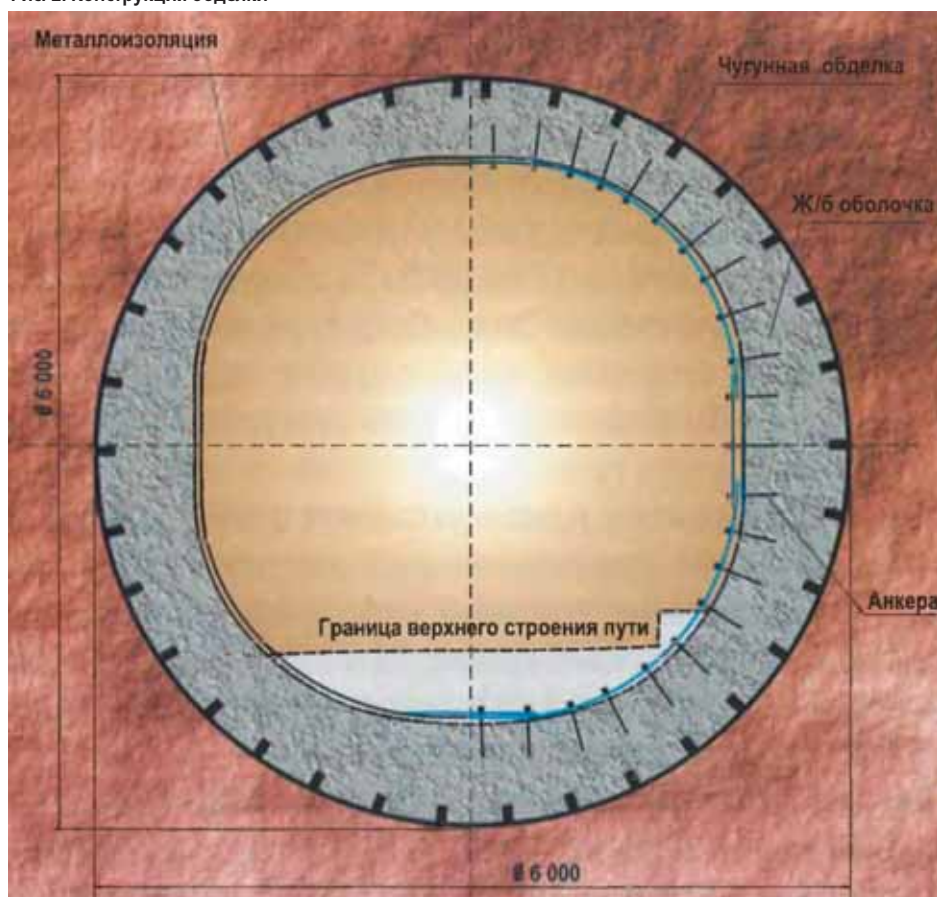


Рис. 1. Варианты строительства перегонных тоннелей в районе Размыва

Рис. 2. Конструкция обделки



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

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

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

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

За время аварии 1995 г. в тоннель № 1 было выпущено порядка 5700 м³ грунта, на поверхности образовалась муфта оседания объемом 8000 м³, максимальные осадки достигали около 900 мм.

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

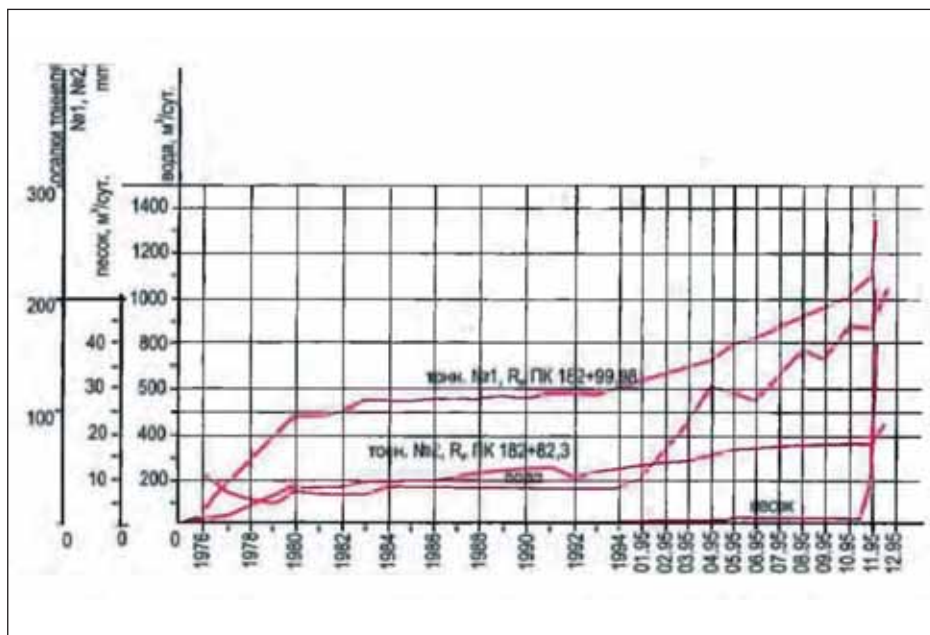


Рис. 3. Осадки тоннелей и суммарный дебет поступления воды и песка в тоннели

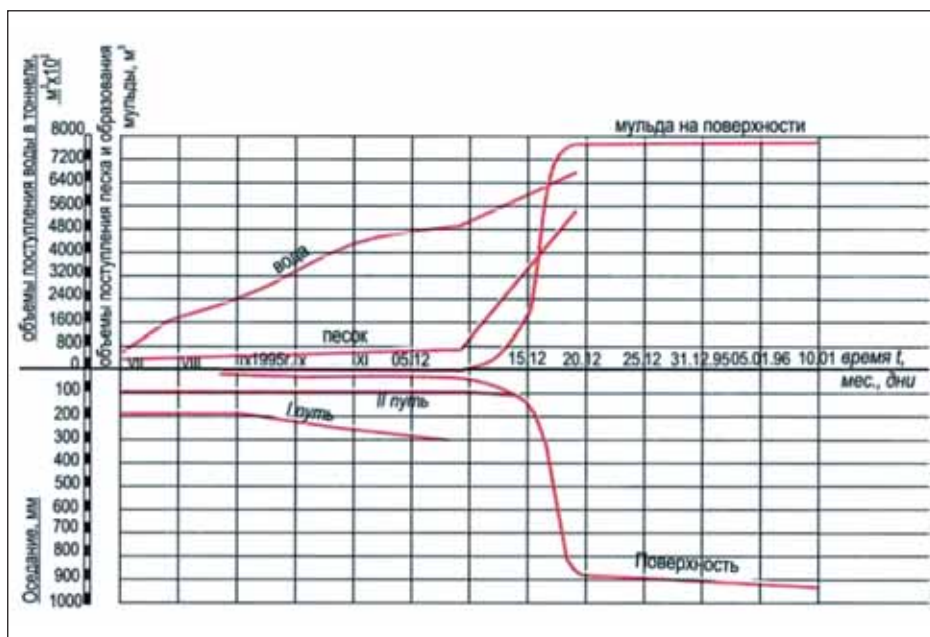


Рис. 4. Параметры муфты оседания и графики поступления воды и песка в тоннель № 1

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



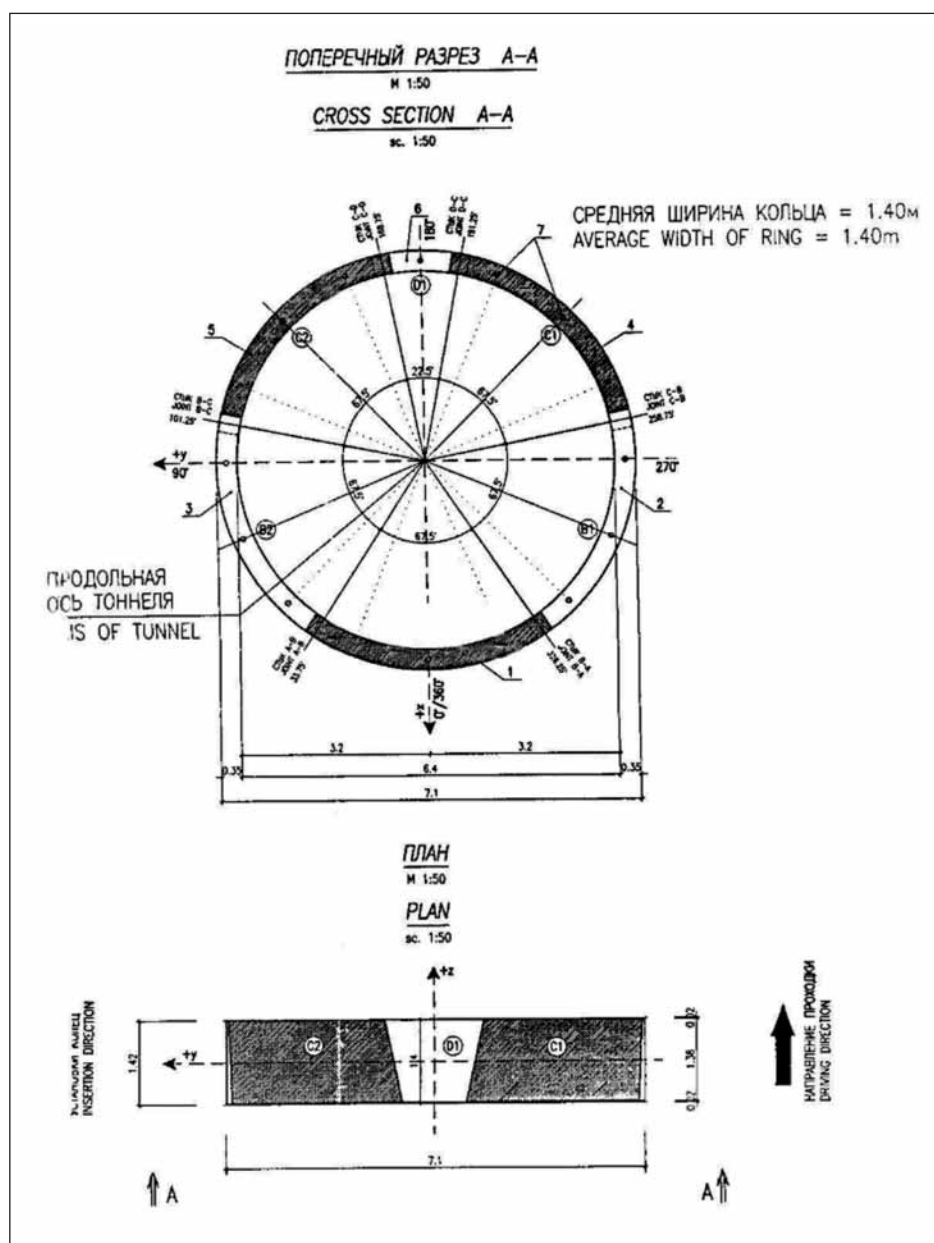


Рис. 6. Конструкция обделки

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

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

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

щадь Мужества», которое успешно продолжается по сегодняшний день.

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

1. В районе затопленных тоннелей старой трассы:

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

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

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

2. Сооружение и эксплуатация тоннелей на новой трассе:

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

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

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

- пространственное положение тоннелей не изменяется;

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

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

Список литературы

1. Размыв, история преодоления. Под общей редакцией Кулагина Н. И., Москва, ООО «ТА Инжиниринг», 2005, 119 С.
2. Маслак В. А., Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Захаров Г. Р., Ледяев А. П., Старков А. Ю. Малоосадочные технологии при строительстве метро в историческом центре Санкт-Петербурга. – Метро и тоннели, 2012 г., № 6, С. 26–30.
3. Лебедев М. О., Безродный К. П., Ларионов Р. И. Способы сохранения зданий, являющихся памятниками архитектуры, при строительстве метрополитена в Санкт-Петербурге. – Инженер и промышленник – № 1(31), 2(32), 2018 г.
4. Безродный К. П., Лебедев М. О. Натурные исследования напряжённо-деформированного состояния системы «обделка – массив» в составе горно-экологического мониторинга. – Метро и тоннели – № 6, 2011 г., С. 28–30.
5. Меркин В. Е., Петрова Е. Н. Характерные тренды развития и цена аварий в современном тоннелестроении – Метро и тоннели, 2022 г., № 4, С. 38–41.
6. Куликова Е. Ю., Конюхов Д. С. Мониторинг риска аварий при освоении подземного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 1. – С. 97–103. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_97.