

УДК 624.195

Опыт обследования и проведения инженерных расчетов тоннеля Сухарный Лозово–Севастопольской ж. д.

В. Н. Кавказский¹, Д. А. Соловьев¹, Р. А. Соловьев²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²Акционерное общество «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс», Российская Федерация, 191002, Санкт-Петербург, ул. Большая Московская, 2

Для цитирования: Кавказский В. Н., Соловьев Д. А., Соловьев Р. А. Опыт обследования и проведения инженерных расчетов тоннеля Сухарный Лозово–Севастопольской ж. д. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 1. — С. 215–227. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-215-227

Аннотация

Цель: Оценка технического состояния тоннеля Сухарный, являющегося важным элементом для эксплуатации железной дороги. В данной статье описывается опыт обследования и осуществления поверочных расчетов в соответствии с актуальными требованиями нормативной документации для подземных конструкций транспортных сооружений, находящихся в эксплуатации на участке Лозово–Севастопольской железной дороги полуострова Крым. **Методы:** Выполнялись работы по обследованию тоннеля Сухарный, в которые входили: обмерные работы, визуальное обследование и инструментальное обследование. **Результаты:** По результатам обследования были уточнены параметры обделки тоннеля. Затем проводились расчеты обделки с учетом уточненных параметров конструкций. Произведенный комплекс работ позволил сделать важные выводы и рекомендации по техническому состоянию конструкций тоннеля. **Практическая значимость:** После своего открытия Лозово–Севастопольская железная дорога соединила город Симферополь с центральной частью России и ускорила восстановление Севастополя и Черноморского флота после Крымской войны. В настоящее время участок дороги по прежнему находится в эксплуатации и является важной транспортной артерией, соединяющей город Севастополь с центральной частью России. В текущей геополитической ситуации особенно важно бесперебойное функционирование данной артерии, которое будет затруднительно без должного технического состояния тоннелей, находящихся на этой железной дороге. Поэтому проведенный комплекс обследовательских и расчетных работ, сделанные выводы и рекомендации имеют важное практическое значение.

Ключевые слова: Горные тоннели, Крым, обследование подземных сооружений, инженерные расчеты, сейсмическая активность.

Введение

Строительная отрасль непрерывно развивается. Совершенствуются технологии строительства, методы проектирования инженерных конструкций, появляется новое программное обеспечение для осуществления комплексных геотехнических расчетов. Подобные изменения не могут не затронуть нормативную документа-

цию, которая актуализируется сообразно темпам развития строительных технологий и методам проектирования инженерных конструкций.

В связи с этим представляется желательной актуализация технической документации по сооружениям, запроектированным и возведенным в соответствии с нормами и правилами прошлых поколений. Особенно это актуально для находя-

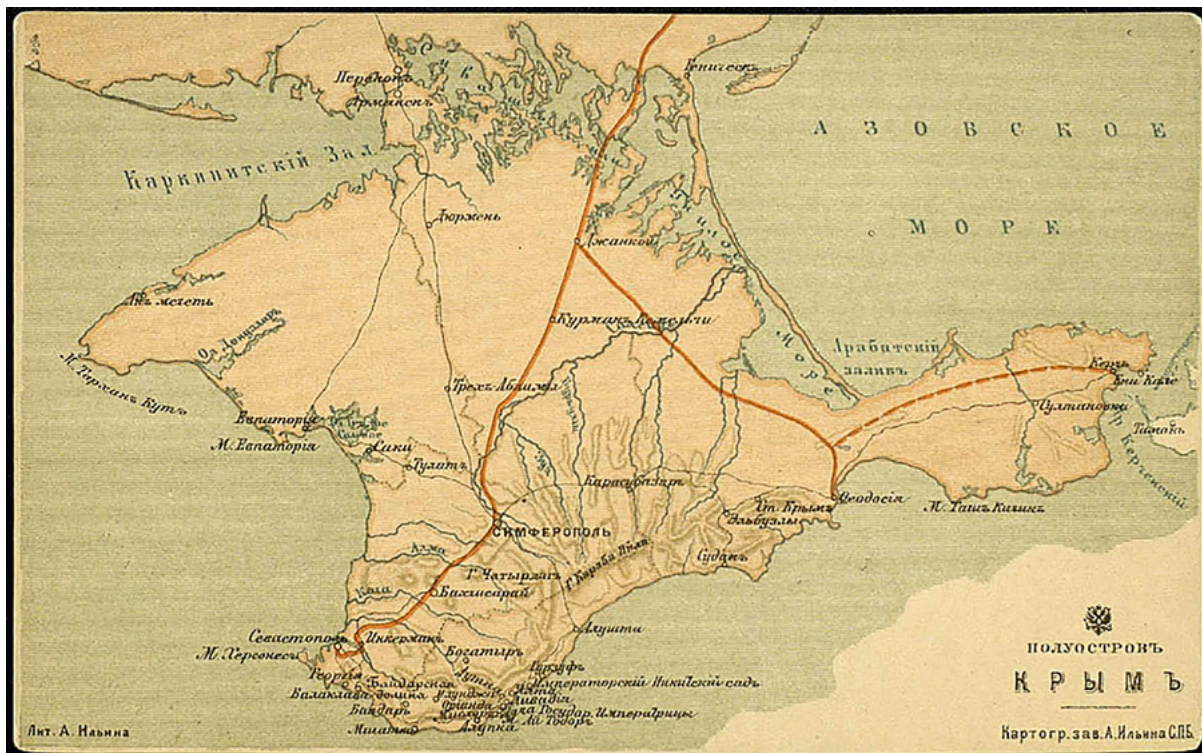


Рис. 1. Карта полуострова Крым. Лозово-Севастопольская железная дорога¹

щихся в эксплуатации сооружений, возведенных более века назад. Для подобных сооружений распространены ситуации отсутствия подробных проектных решений, частичного или полного отсутствия документации по расчетам элементов сооружений.

В данной статье описывается опыт обследования и выполнения поверочных расчетов в соответствии с актуальными требованиями нормативной документации для подземных конструкций транспортных сооружений, находящихся в эксплуатации на участке Лозово-Севастопольской железной дороги полуострова Крым.

Краткий исторический обзор

Лозово-Севастопольская железная дорога соединила город Симферополь с центральной частью России и ускорила восстановление Севастополя и Черноморского флота после Крымской

войны. Первый товарный поезд к железнодорожной станции Севастополя прошел 15 сентября 1875 г. [1–3].

Схема расположения железной дороги полуострова Крым представлена на рис. 1.

Дорогу длиной в 665 км от станции Лозовой через Джанкой до Севастополя построили за 4 года. При этом крымский участок из-за особенностей рельефа был очень сложным. Самые трудоемкие работы на трассе оказались на участке Мекензиевы горы — Севастополь. Предгорный рельеф местности при подходе к Севастополю поставил перед строителями сложную задачу. От станции Сюрень (современная ст. Верхнесадовое) железнодорожную трассу надо было поднять на высоту 150 м над уровнем моря, а затем опустить на 10-метровую отметку к урезу Севастопольской бухты. Поэтому из-за больших перепадов высот и сложного рельефа местности было

¹ URL: https://expositions.nlr.ru/ex_map/Krim/.

пробито шесть железнодорожных тоннелей, общая протяженность которых составляет около 2 км. Каждый из них получил свое имя.

Первый тоннель со стороны Симферополя — Сухарный. Своему названию он обязан Сухарной балке, в которой в начале XIX века Морское ведомство построило завод для выпуска сухарей. Второй — самый короткий тоннель — Графский, названный по имени графа М. И. Войновича, командовавшего Севастопольской эскадрой с 1889 по 1890 г. После Графского железная дорога вновь скрывается в очередном тоннеле, получившем название Белый от цвета известняка — инкерманского камня. Четвертый тоннель — Цыганский — самый длинный, по названию балки в Инкермане. Пятый тоннель — Троицкий — пересекает мыс, образованный Килен-балкой и Троицкой балкой. Шестой тоннель, украшенный аркой с рельефным орнаментом и эдикулами для скульптур, находился на Корабельной стороне, пробит под Лазаревскими казармами и получил название Городской.

С момента пуска дороги и тоннелей в эксплуатацию прошло 147 лет. Тоннели в настоящее время продолжают эксплуатироваться и, несмотря на преклонный возраст, выполнять свои функции. В текущей геополитической обстановке их дальнейшая бесперебойная эксплуатация является важной задачей для обеспечения связи города Севастополь с его портовыми мощностями и центральной частью России.

Основная информация о тоннеле Сухарный

Сухарный тоннель сооружался в 1872–1874 гг. под два пути широкой колеи 1524 мм, с между-путем 3800 мм без уширения на прямой. Длина тоннеля 329,5 м. Во время Великой Отечественной войны тоннель разрушался. При восстановлении в 1946 г. длина тоннеля была уменьшена. После чего тоннель эксплуатировался в таком

состоянии в течение 10 лет. В 1957–1958 гг. при выполнении капитального ремонта тоннель был восстановлен до первоначальной длины.

В связи с неудовлетворительным состоянием старой каменной обделки институт «Гипротранспуть» разработал проект капитального ремонта, а дорожный мостопоезд в течение 1970–1986 гг. его выполнял.

В настоящее время Сухарный тоннель эксплуатируется как однопутный с расположением рельсошпальной решетки со сдвижкой относительно оси тоннеля в сторону центра кривой.

В плане тоннель расположен на кривой радиусом $R = 525$ м, начало тоннеля — 1524-й километр (Симферопольский портал на ПК 2+31 м), конец тоннеля 1524-й километр (Севастопольский портал на ПК 5+60,5 м). В профиле тоннель односкатный с уклоном 12 ‰ в сторону ст. Инкерман. Максимальная глубина заложения — 30 м.

Обделка тоннеля в результате реконструкции 1970–1986 гг. претерпела изменения. По всей длине тоннеля обделка выполнена из монолитного бетона марки М200 с внутренним очертанием и междупутем, удовлетворяющим габариту приближения строения «С» с учетом его расположения на кривой (рис. 2). Обделка тоннеля состоит из трех участков. Двух удлиненных участков длиной 44 м со стороны Симферополя и 40 м со стороны Севастополя и участка реконструированной обделки длиной 245 м. На удлиненных участках в пространстве за стеной обделки устроен заобделочный дренаж. По длине тоннеля выполнены деформационные швы с шагом 20 м.

Горный массив, прорезанный тоннелем, в местах постройки порталов сложен плотными мергелистыми глинам, практически четвертичным делювием. В поперечном направлении все слои, кроме четвертичного делювия, залегают почти горизонтально, а в продольном — слабо наклонены от Северо-Западного портала к Юго-Западному. Тоннель прорезает от Северо-

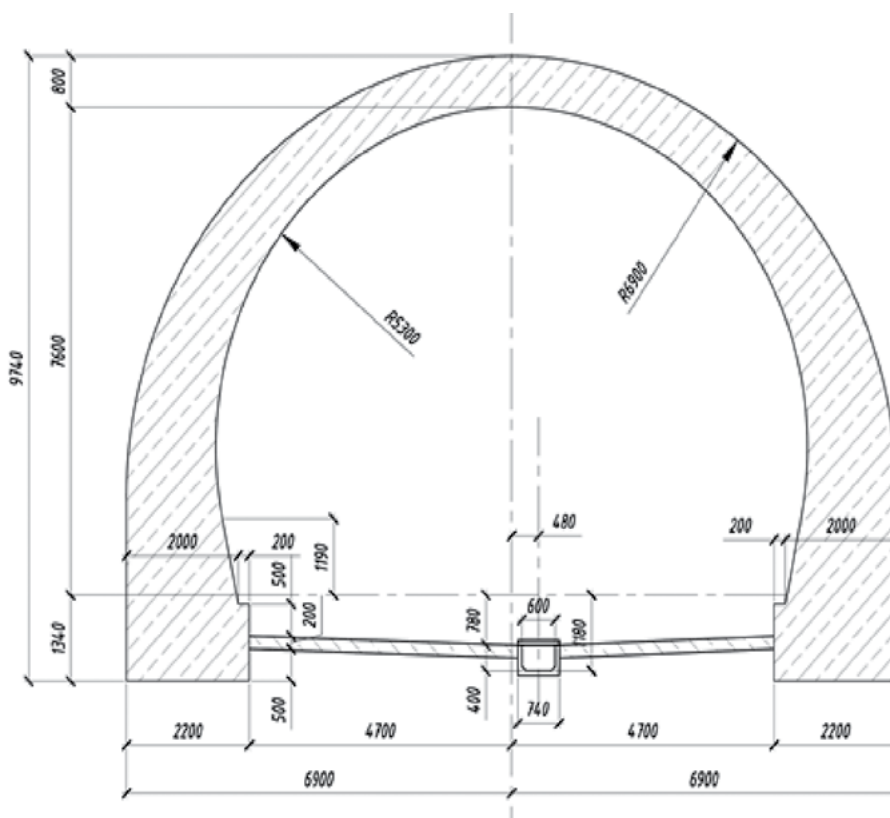


Рис. 2. Чертеж типовой конструкции обделки тоннеля Сухарный

Западного портала к середине тоннеля толщу из известняка глин мергелистых с маломощными линзовидными прослойками песка и в толще скального конгломерата в нижней части. От середины к юго-восточному portalу тоннель пройден в мергелистых глинах. Средний коэффициент крепости пород по шкале профессора Протодяконова $f = 1,5-2,0$, средний объемный вес грунта $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$, а угол внутреннего трения $\varphi = 60-65^\circ$.

По данным действующего на текущий момент СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» [4], город федерального значения Севастополь и прилегающая к нему территория расположены в сейсмически активном районе Крыма. В соответствии с приложением А СП («Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации», карта ОСР—2015) данная территория попадает в зону с расчетной сейсмической интенсивности в баллах шкалы

MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности — А (10 %), В (5 %), С (1 %) в течение 50 лет. Район расположения тоннелей относится к сейсмически активным с расчетной сейсмической интенсивностью по шкале MSK-64 — 9 баллов.

В рамках обследования тоннеля Сухарный выполнялись следующие виды работ:

- обмерные работы;
- визуальное обследование;
- инструментальное обследование.

Обмерные работы

Одной из задач обследования тоннелей является выполнение обмерных работ посредством проведения геодезических и инструментальных измерений положения конструкций в пространстве. Для этих целей незаменимым приемом является трехмерное сканирование объекта. Данный

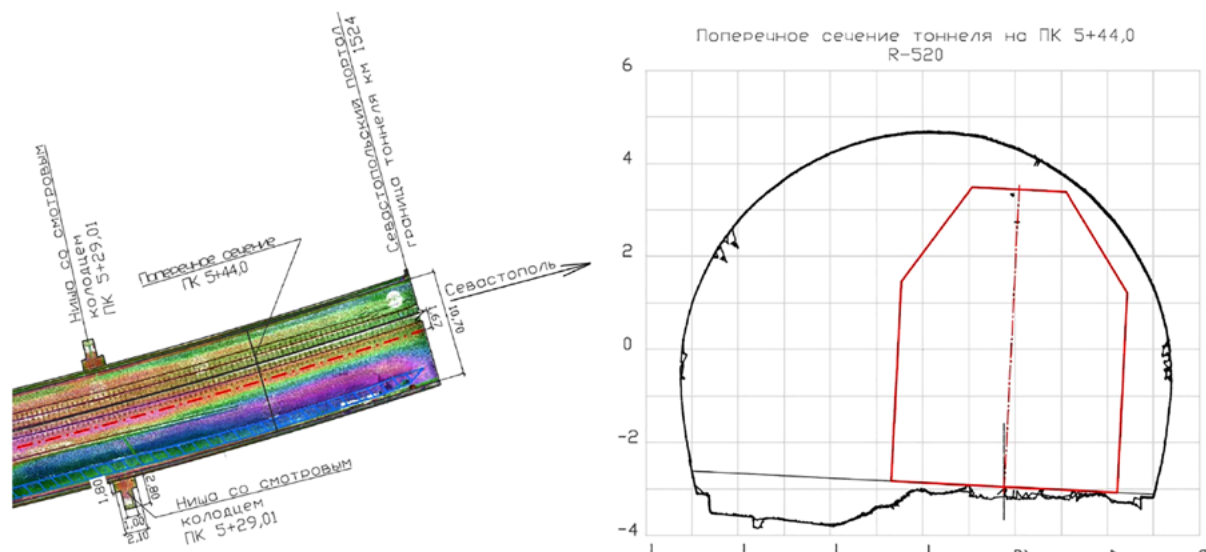


Рис. 3. Результаты трехмерного сканирования и построения поперечного сечения

подход обладает рядом преимуществ и позволяет получить с высокой точностью пространственную модель объекта и положения конструкций в пространстве. Перед началом сканирования создается опорная геодезическая сеть. В нашем случае сканирование выполнялось сканером Leica BLK360.

Результаты выполненного трехмерного сканирования обрабатываются в камеральных условиях, и на основе полученных данных строятся фактические очертания конструкций в различных сечениях, уточняются данные существующих конструкторских чертежей.

Пример результатов обмерных работ при помощи трехмерного сканирования с последующим построением сечений конструкций представлен на рис. 3.

Визуальное обследование

По результатам визуального обследования тела Сухарного тоннеля были выявлены многочисленные разнонаправленные трещины, а также многочисленные зоны увлажнения с образованием высолов и зоны протечек нефтепродуктов, приуроченные к трещинам и деформационным

швам. Зоны протечек нефтепродуктов и образования влажных и сухих высолов составили 50 % от общей площади обделки. По длине тоннеля данные дефекты распространены равномерно с наибольшей концентрацией с 17-го по 73-й участок. Также была выявлена зона повышенного трещинообразования на припортальном участке Симферопольского портала с 1-го по 12-й участок. Состояние Сухарного тоннеля можно охарактеризовать как ограниченно-работоспособное (по ГОСТ Р 57208—2016) [5].

Инструментальное обследование

Методика инструментального обследования тоннельных конструкций и заобделочного пространства разработана специалистами ПГУПС и апробирована на объектах Петербургского и Московского метрополитенов, а также на объектах транспортной инфраструктуры Сирийской Арабской Республики и подземных сооружениях Черкейской, Миатлинской, Гоцатлинской ГЭС [6, 7].

Данная методика предполагает выполнение работ в пять этапов.

На первом этапе прибором «Георадар ОКО-2», основанным на методе геолокации, определяется

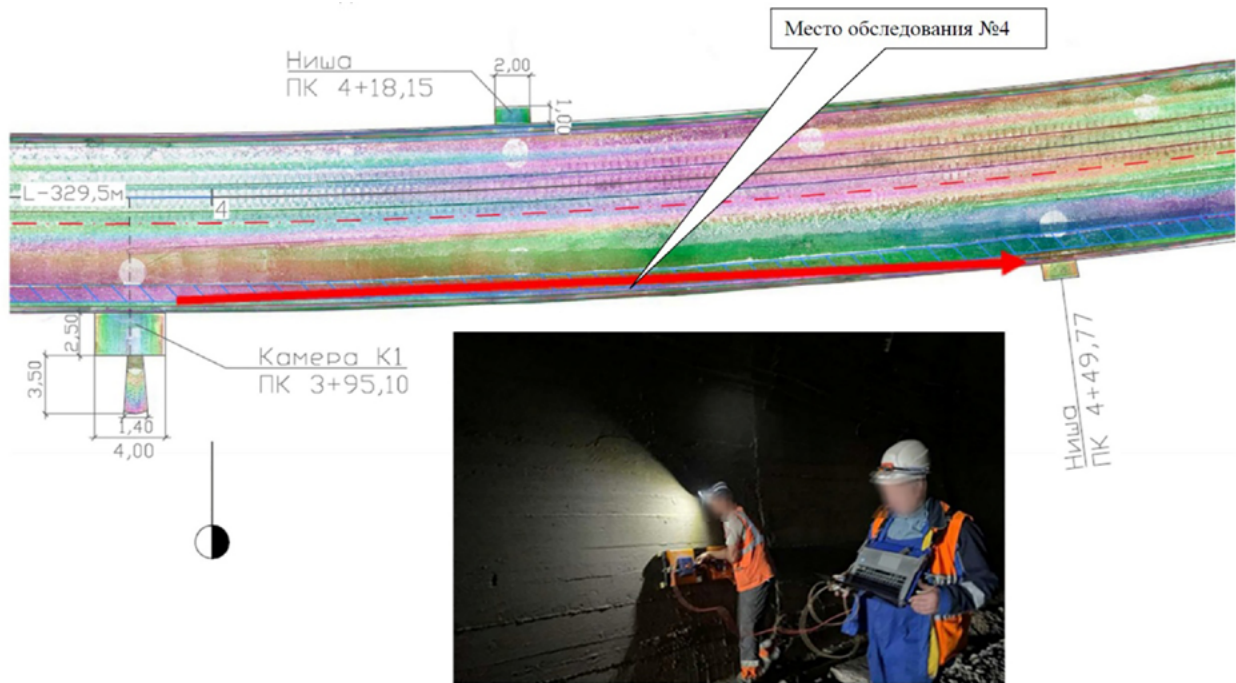


Рис. 4. Схема сканирования обделки георадаром, показанная на результатах трехмерного сканирования тоннеля (фото — Ш. Мукмагомедов)

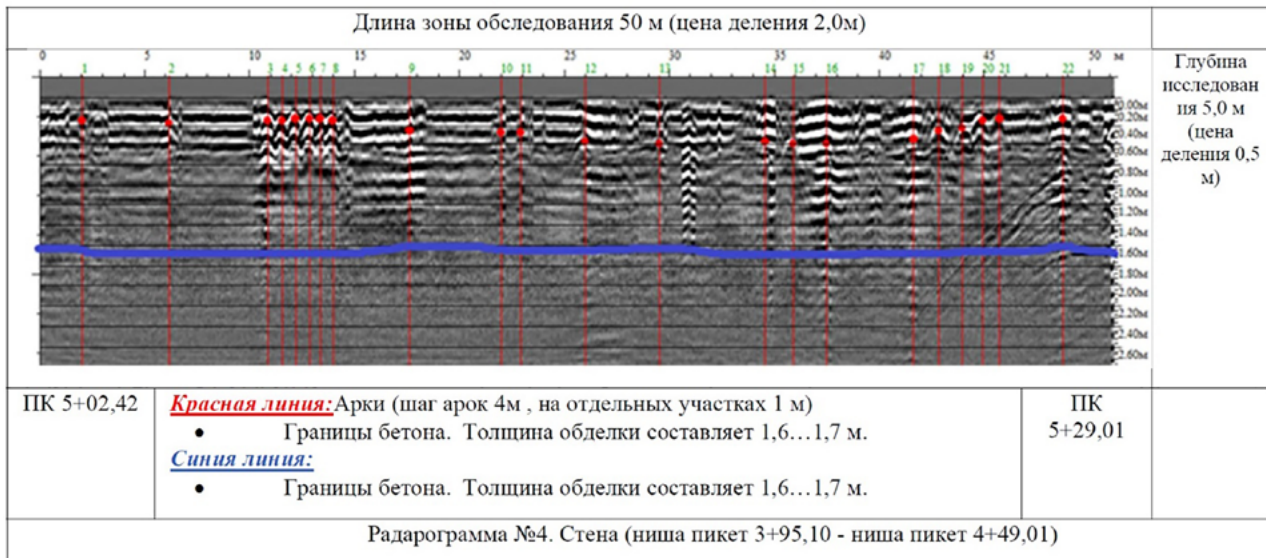


Рис. 5. Пример радарограммы обделки тоннеля

наличие арматуры, дефектов в бетоне и пустот за обделкой, а также состояние заобделочного пространства в целом.

На втором этапе определяется прочность тоннельной обделки методом неразрушающего контроля (методом отрыва со скалыванием).

На третьем этапе выполняется проверка полученных данных путем непосредственного выбуривания кернов бетона обделки и породы.

Четвертый этап — лабораторные испытания прочностных характеристик бетона в лицензированной лаборатории ПГУПС «Прочность мате-

риалов и конструкций» и обработка результатов всех измерений.

По результатам инструментального обследования были сделаны следующие выводы. Крупных областей дефектного бетона глубиной, сравнимой с толщиной обделки, не обнаружено. В заобделочном пространстве на срединном участке тоннеля длиной 55 м зафиксированы области водонасыщенного грунта с нагорной стороны. На нескольких участках стен обнаружены металлические арки временной крепи. Шаг арок составляет 4 м. В зонах усиления временной крепи арки расположены чаще, с шагом 1 метр. Скрытых областей дефектного бетона не обнаружено. Со стороны штольни обводненных грунтов не обнаружено. В обратном своде на участке ПК 2+31,00–ПК 2+88,18 установлено, что глубина фундамента портала составляет 2 м. Толщина слоя щебня составляет 0,5 м. Толщина слоя бетона плиты составляет 0,2–0,25 м. В лотковой части тоннеля водопроявлений не обнаружено. Крупных дефектов бетона не выявлено. В своде обследование показало, что толщина бетона верхнего свода составляет 0,6–0,65 м. Крупных областей дефектного бетона не выявлено.

Прочность бетонной обделки в тоннеле соответствует классу В15. Выбуривание образцов из бетонной обделки тоннеля для определения прочности методом определения по контрольным образцам показал, что бетон соответствует классу В20. Таким образом, прочность бетонной обделки соответствует проектным значениям. Водопроницаемость тоннельной обделки низкая, соответствует классу бетона по водонепроницаемости W2. На рис. 4 и 5 представлены примеры производимого инструментального обследования и последующей обработки данных радарограмм совместно с результатами трехмерного сканирования.

Расчеты

Статический расчет обделки выполняется по методу Метрогипротранса. Этот метод предназначен для расчета конструкции произвольного очертания, расчетную схему которого можно представить в виде плоской стержневой системы. Была выполнена серия расчетов с учетом существующих дефектов и в соответствии с актуальными нормативными документами.

Расчеты конструкции постоянной обделки были произведены согласно требованиям актуальных нормативных документов: СП 122.13330.2012 «Тоннели железнодорожные и автодорожные»; СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах»; ВСН 193—81 «Инструкция по учету сейсмических воздействий при проектировании горных транспортных тоннелей»; СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» [4, 8–10].

Расчеты производились на самый неблагоприятный вариант, когда конструкция воспринимает все горное давление, для сечения обделки, находящегося в наиболее неблагоприятных инженерно-геологических условиях, а именно в мергелистых глинах. Характеристики грунтов взяты по проектным чертежам. Для расчета принят коэффициент надежности по ответственности 1,1 по ГОСТ 27751—2014. Коэффициент постели принят по таблице СП122.13330.2012 $K = 20$ кгс/см³ как для твердых глин. По результатам инструментального обследования материал монолитной обделки соответствует классу бетона В20 [10, 11].

$R_{bn} = 15$ МПа — нормативное сопротивление бетона сжатию по табл. 6.7 (СП 63.13330.2018);
 $R_{bnt} = 1,35$ МПа — нормативное сопротивление бетона растяжению по табл. 6.7 (СП 63.13330.2018) [10].

$E_b = 27,5 \cdot 10^3$ МПа — начальный модуль деформации бетона, табл. 6.11 (СП 63.13330.2018);
 $E_{b,t} = 9166$ МПа модуль деформации бетона при

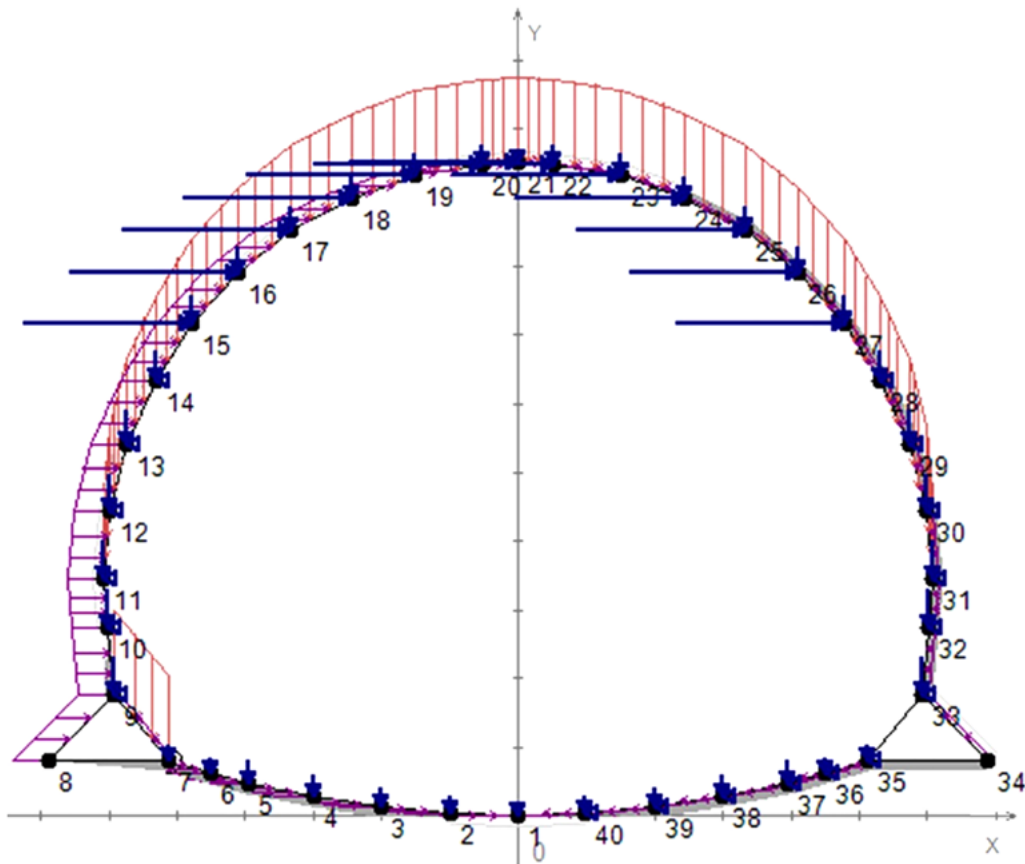


Рис. 6. Расчетная схема

продолжительном действии нагрузки, табл. 6.12, формула 6.3 (СП 63.13330.2018); $R_b = 11,5$ МПа — расчетное сопротивление бетона, табл. 6.8 (СП 63.13330.2018); $R_{bt} = 0,9$ МПа — расчетное сопротивление бетона на растяжение, табл. 6.8 (СП 63.13330.2018) [10].

Нагрузка от горного давления на конструкцию обделки тоннеля была рассчитана согласно СП 122.13330.2012 «Тоннели железнодорожные и автомобильные» по гипотезе сводообразования профессора Протодяконова как вес грунтов в своде обрушения [8]. По результатам аналитических расчетов получились следующие вертикальные и горизонтальные проекции нормативных воздействий:

- нормативная вертикальная нагрузка от веса грунтов в своде обрушения $q_n = 13,18$ т/м²;
- нормативная вертикальная нагрузка от собственного веса конструкции рассчитана индиви-

дуально и приложена в расчетной схеме поэлементно сосредоточенными силами;

– нормативная горизонтальная нагрузка $p_n = 2,15$ т/м².

В расчетных нагрузках также учтен коэффициент надежности по ответственности $\gamma_{fl} = 1,1$. Распределенная расчетная вертикальная нагрузка равна: $q = q_n \cdot 1,5 \cdot 1,1 = 21,75$ т/м².

Распределенная расчетная горизонтальная нагрузка равна:

$p_p = p_n \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 1,89$ т/м² — минимальное значение.

$p_p = p_n \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 2,84$ т/м² — максимальное значение.

Нагрузка от собственного веса также учитывается с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma = 1,2$ и коэффициентом надежности по ответственности $\gamma = 1,1$.

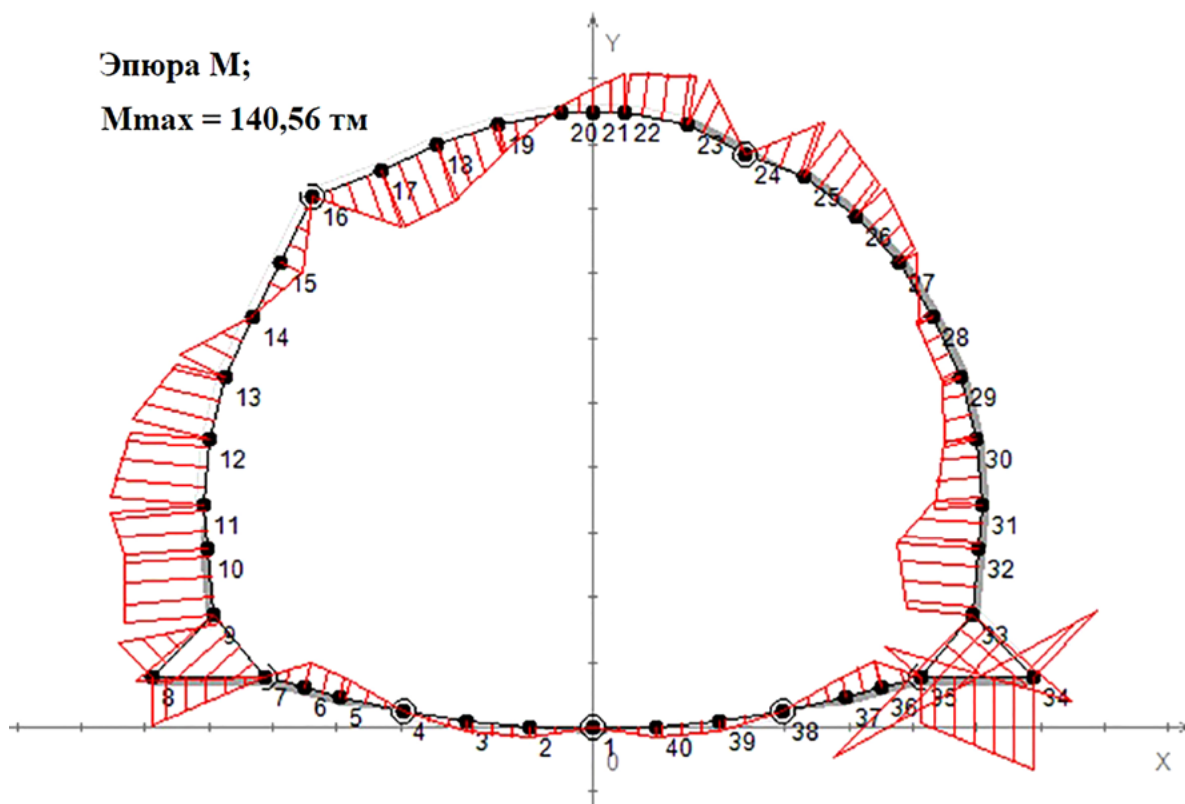


Рис. 7. Эпюра изгибающих моментов в обделке с учетом сейсмического воздействия

При подборе арматуры и проверке сечений на внецентренное сжатие вводится коэффициент условий работы 0,9 к неточности расчетной схемы в соответствии с СП «Тоннели» [8].

Задание параметров для сейсмического расчета проводилось в соответствии с п. 8 ВСН 193—81. При расчете на сейсмические нагрузки принимается начальный модуль упругости бетона [9].

Коэффициент трения бетона по глине был принят $f = 0,3$ — на основе данных табл. 142 пособия по проектированию оснований зданий и сооружений (СНиП 2.02.01—83) и табл. 17 СНиП П-22—81 «Каменные и армокаменные конструкции» [12].

Эпюра изгибающих моментов по результатам моделирования с учетом сейсмического воздействия представлена на рис. 7.

Картина перемещений и образования пластического шарнира в своде обделки показана в уве-

личенном масштабе для получения более ясной картины и представлена на рис. 8.

В обследуемом тоннеле обнаружены зоны развития пластических шарниров. Конструкция тоннеля монолитная, достижение предельных состояний подобных конструкций часто связано с образованием первого шарнира в центральной части свода, в результате возникающих растягивающих усилий в нижней части сечения возникают трещины растяжения. Подобные дефекты были обнаружены при обследовании тоннеля. Описание работы монолитной тоннельной обделки при достижении предельных состояний описаны в учебнике Храпова [13]. Дальнейшее нагружение приводит к раскрытию шарниров в четвертях свода, поскольку возникающий после сброса в своде изгибающий момент переходит на стены. В данном тоннеле практически не выявлены трещины в четвертях свода. Разумеется, трещины со стороны грунтового массива

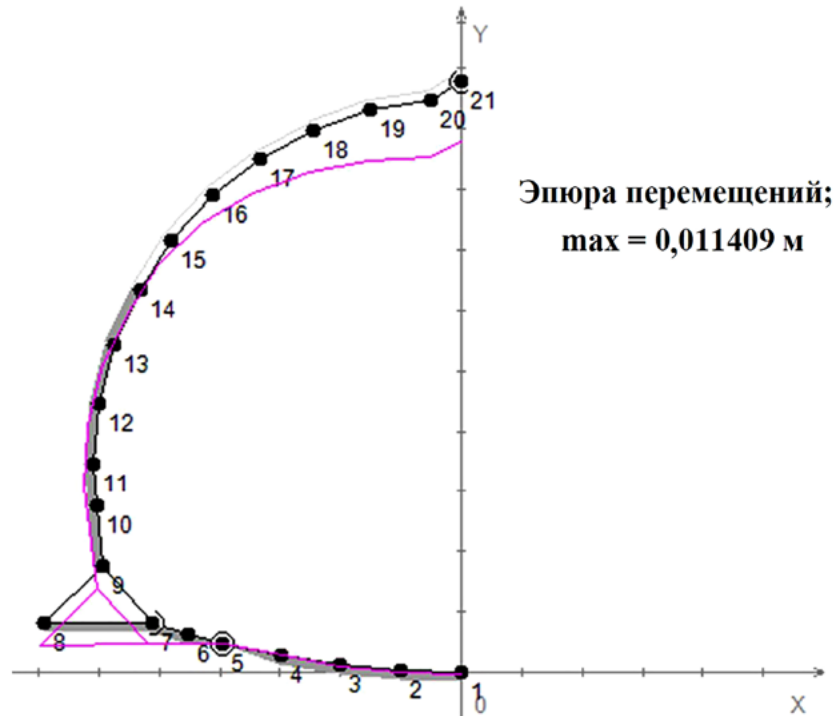


Рис. 8. Картина перемещений и образования пластического шарнира в своде обделки.
Расчет на расчетные нагрузки

невозможно определить, однако значительное раскрытие трещин будет сопровождаться сжатием бетона и, следовательно, его разрушением по внутреннему контуру обделки.

Образование трещин в четвертях свода особенно опасно для тоннельных конструкций и будет проявляться расслаиванием бетона, что будет указывать на разрушение тоннельной конструкции. Подобные ситуации не были выявлены в тоннеле Сухарный. Скорее всего, статическая работа конструкции проектировалась с учетом образования пластического шарнира в своде, что подразумевает работу конструкции по методу предельного состояния, с учетом образования первого шарнира, то есть с учетом образования трещин в своде. Подобный подход позволял отказаться от армирующих элементов.

Заключение

На основе произведенных расчетов можно сделать вывод, что тоннель находится в работо-

способном состоянии, но не выполняются требования по трещиностойкости в своде и в лотке обделки. На длительные нагрузки от горного давления обделка сохраняет свою несущую способность с образованием устойчивых трещин разрыва. При воздействии сейсмических волн места возникновения трещин растяжения могут проявляться на стенах, так как обделка не армирована. После сейсмической активности рекомендуется визуальный осмотр тоннеля, чтобы отследить образование наиболее опасных трещин от превышения сжимающих напряжений, которые будут проявляться шелушением бетона, трещинами вертикальными и наклонными под углом 45 градусов, расслоением бетона в теле обделки. Однако по результатам расчетов сечения обделки достаточно, чтобы воспринимать сжимающие напряжения после возникновения трещин растяжения.

Проведенные обследовательские работы и расчеты позволили сформулировать рекомендации по эксплуатации тоннеля Сухарный.

Для повышения несущей способности тоннельной обделки рекомендуется проведение следующих мероприятий. Устранить локальные протечки в обделке тоннеля путем нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку и заделки трещин тампонирующими полимерными составами. Восстановление защитных слоев бетона рекомендуется выполнять с удалением слоев слабого бетона. Для заделки используют песчаный бетон или бетон с мелким щебнем, фибробетон. Трещины в бетоне рекомендуется расширить на глубину не менее 5 мм и заделать герметизирующими составами. Поверхность предварительно очищают для обеспечения адгезии с применяемым составом, совместимым с бетоном.

В случае фиксации сейсмических воздействий рекомендуется производить визуальный осмотр тоннельной обделки на наличие образования новых трещин. В случае обнаружения трещин значительного раскрытия (более 5 мм) рекомендуется установить маяки для их дальнейшего наблюдения и организовать мониторинг тоннельной обделки с привлечением специализированной организации.

Список источников

1. Лозово-Севастопольская железная дорога. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 20.01.2025).
2. Красковский Е. Я. История железнодорожного транспорта России. Т. 1: 1836–1917 гг. / Е. Я. Красковский, М. М. Уздин. — СПб., 1994. — 336 с.
3. Павлов В. Е. История железнодорожного транспорта России и Советского союза. Т. 2: 1917–1945 гг. / В. Е. Павлов, М. М. Уздин. — СПб., 1997. — 416 с.
4. СП 14.13330.2018. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7—81. Утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.05.2018 № 309/пр. — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/17067> (дата обращения: 20.01.2025).
5. ГОСТ Р 57208—2016. Тоннели и метрополитены. Правила обследования и устранения дефектов и повреждений при эксплуатации. ОКС 93.060. — Введ. 01.04.2017. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141113> (дата обращения: 20.01.2025).
6. Кавказский В. Н. Оценка технического состояния подземных сооружений крупнейшей гидроэлектростанции Северного Кавказа Чиркейской ГЭС / В. Н. Кавказский, Я. В. Мельник, А. П. Лейкин и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2021. — Т. 18. — Вып. 3. — С. 410–420.
7. Фролов Ю. С. Опыт проходки автотранспортных тоннелей при пересечении с действующим железнодорожным тоннелем на трассе дублера курортного проспекта в г. Сочи / Ю. С. Фролов, Н. А. Коньков, Б. Д. Пеньков и др. // Метро и тоннели. — 2014. — № 1. — С. 6–10.
8. СП 122.13330.2012. Тоннели железнодорожные и автодорожные. Введ. 01.01.2013. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1911/> (дата обращения: 20.01.2025).
9. ВСН 193—81. Инструкция по учету сейсмических воздействий при проектировании горных транспортных тоннелей. Введ. 15.01.1982. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200041138> (дата обращения: 20.01.2025).
10. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Введ. 01.07.2021. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18227/> (дата обращения: 20.01.2025).
11. ГОСТ 27751—2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Введ. 01.07.2015. — URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/58469/> (дата обращения: 20.01.2025).
12. СП 15.13330.2020 «СНиП П-22-81* Каменные и армокаменные конструкции». Введ. 01.07.2021. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/117291/> (дата обращения: 20.01.2025).
13. Храпов В. Г. Тоннели и метрополитены: учебник для вузов / В. Г. Храпов, Е. А. Демешко, С. Н. Наумов и др.; под ред. В. Г. Храпова. — М.: Транспорт, 1989. — 383 с.

Дата поступления: 27.01.2025

Решение о публикации: 26.02.2025

Контактная информация:

КАВКАЗСКИЙ Владимир Николаевич — канд. техн. наук, доц.; kavkazskiy_vn@mail.ru

СОЛОВЬЕВ Дмитрий Андреевич — канд. техн. наук, доц.; siberian_egl@mail.ru

СОЛОВЬЕВ Роман Андреевич — главный специалист; muxairoxmail@gmail.com

Engineering Survey and Calculations of the Sukharny Tunnel on Lozovo–Sevastopol Railway

V. N. Kavkazsky¹, D. A. Soloviev¹, R. A. Soloviev²

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²Open Joint Stock Company Scientific Research, Design and Survey Institute Lenmetrogioprotrans, 2, Bolshaya Moskovskaya Street, St-Petersburg, 191002, Russian Federation

For citation: Kavkazsky V. N., Soloviev D. A., Soloviev R. A. Engineering Survey and Calculations of the Sukharny Tunnel on Lozovo-Sevastopol Railway // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 1, pp. 215–227. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-215-227

Summary

Purpose: To assess the engineering condition of the Sukharny tunnel that is an important element of the operating railway. The paper describes the inspection and verification calculations in accordance with the current regulatory requirements for transport underground structures on Lozovo-Sevastopol railway in the Crimea. **Methods:** Inspection works were performed on the Sukharny Tunnel including measuring, visual inspection and instrument-aided examination. **Results:** Based on the results of the survey, the tunnel lining parameters were specified. The lining calculations were then carried out taking into account the specified structural parameters. The range of works performed allowed making important conclusions and recommendations on the technical condition of the tunnel structures. **Practical significance:** After its opening, the Lozovo-Sevastopol railway connected the city of Simferopol with the central part of Russia, and accelerated the reconstruction of Sevastopol and the Black Sea Fleet after the Crimean War. Currently, the railway is still in operation and it is an important transportation artery connecting the city of Sevastopol with the central part of Russia. In the current geopolitical situation, it is especially important to ensure uninterrupted operation of this artery, which would be difficult without proper technical maintenance of the tunnels on this railway. Therefore, the survey and calculation works conducted, conclusions and recommendations proposed have important practical implications.

Keywords: Mountain tunnels, Crimea, survey of underground structures, engineering calculations, seismic activity.

References

1. *Lozovo-Sevastopol'skaya zheleznaya doroga* [Lozovo-Sevastopol Railway]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (accessed: January 20, 2025). (In Russian)
2. Kraskovskiy E. Ya., Uzdin M. M. *Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii. T. 1: 1836–1917 gg.* [History of railway transport in Russia. Vol. 1: 1836–1917]. St. Petersburg, 1994, 336 p. (In Russian)
3. Pavlov V. E., Uzdin M. M. *Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii i Sovetskogo soyuza. T. 2: 1917–1945 gg.* [History of railway transport in Russia and the Soviet Union. T. 2: 1917–1945]. St. Petersburg, 1997, 416 p. (In Russian)
4. *SP 14.13330.2018. Svod pravil. Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-7—81. Utv. i vveden v deystvie Prikazom Ministroya Rossii ot 24.05.2018 № 309/pr* [SP 14.13330.2018. Code of Practice. Construction in seismic areas. Updated version of SNIIP II-7—81. Approved and put into effect by Order of the Ministry of Construction of Russia dated 24.05.2018 № 309/pr]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/17067> (accessed: January 20, 2025). (In Russian)
5. *GOST R 57208—2016. Tonneli i metropoliteny. Pravila obsledovaniya i ustraneniya defektov i povrezhdeniy pri ekspluatatsii. OKS 93.060. Vved. 01.04.2017* [GOST R

57208—2016. Tunnels and subways. Rules for inspection and elimination of defects and damage during operation. OKS 93.060. Introduced 01.04.2017]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200141113> (accessed: January 20, 2025). (In Russian)

6. Kavkazskiy V. N., Mel'nik Ya. V., Leykin A. P. et al. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya podzemnykh sooruzheniy krupneyshey gidroelektrostantsii Severnogo Kavkaza Chirkeyskey GES [Assessment of the technical condition of underground structures of the largest hydroelectric power station in the North Caucasus, the Chirkeyskey HPP]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Petersburg University of Railway Engineering]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2021, vol. 18, Iss. 3, pp. 410–420. (In Russian)

7. Frolov Yu. S., Kon'kov N. A., Pen'kov B. D. Opyt prokhodki avtotransportnykh tonneley pri peresechenii s deystvuyushchim zheleznodorozhnym tonnelem na trasse dublera kurortnogo prospekta v g. Sochi [Experience of driving motor vehicle tunnels at intersections with an existing railway tunnel on the route of the Kurortny Prospekt understudy in Sochi]. *Metro i tonneli* [Metro and tunnels]. 2014, Iss. 1, pp. 6–10. (In Russian)

8. SP 122.13330.2012. *Tonneli zheleznodorozhnye i avtodorozhnye*. Vved. 01.01.2013 [SP 122.13330.2012. Railway and road tunnels. Introduced on 01.01.2013]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1911/> (accessed: January 20, 2025). (In Russian)

9. VSN 193—81. *Instruktsiya po uchetu seismicheskikh vozdeystviy pri proektirovanii gornykh transportnykh tonneley*. Vved. 15.01.1982 [VSN 193-81. Instructions for taking into account seismic impacts in the design of mountain transport tunnels. Introduced on 15.01.1982]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200041138> (accessed: January 20, 2025). (In Russian)

10. SP 63.13330.2018. *Betonnnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya*. Vved. 01.07.2021 [SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Introduced on 01.07.2021]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18227/> (accessed: January 20, 2025). (In Russian)

11. GOST 27751—2014. *Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksiy i osnovaniy*. Vved. 01.07.2015 [GOST 27751—2014. Reliability of building structures and foundations. Introduced on 01.07.2015]. Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/58469/> (accessed: January 20, 2025). (In Russian)

12. SP 15.13330.2020 “SNiP P-22-81* *Kamennnye i armokamennnye konstruksii*”. Vved. 01.07.2021 [SP 15.13330.2020 “SNiP P-22-81* Stone and reinforced stone structures”. Introduced on 01.07.2021]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/117291/> (accessed: January 20, 2025). (In Russian)

13. Khrapov V. G., Demeshko E. A., Naumov S. N. et al. *Tonneli i metropoliteny: uchebnik dlya vuzov* [Tunnels and subways: a textbook for universities]. Moscow: Transport Publ., 1989, 383 p. (In Russian)

Received: January 27, 2025

Accepted: February 26, 2025

Author's information:

Vladimir N. KAVKAZKY — PhD in Engineering, Associate Professor; kavkazskiy_vn@mail.ru

Dmitry A. SOLOVIEV — PhD in Engineering, Associate Professor; siberian_egl@mail.ru

Roman A. SOLOVIEV — Chief Specialist; myxairoxmail@gmail.com